

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

**«На правах рукопису»**

**УДК 621.789**

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Гондлях О.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019р.

**Магістерська дисертація**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

спеціалізація Інжиніринг пакування та пакувального обладнання

на тему: Лінія фасування деревного вугілля в м'які контейнери з модернізацією натяжного пристрою

виконав студент 2 курсу, групи ЛУ-81мп

Демиденко Данило Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ д.т.н. проф. Карвацький А.Я. \_\_\_\_\_

Консультант (модернізація) \_\_\_\_\_ д.т.н. проф. Щербина В.Ю. \_\_\_\_\_

Консультант (ТМ та Е) \_\_\_\_\_ ст. викл. Борщик С.О. \_\_\_\_\_

Консультант (механотроніка) \_\_\_\_\_ доц. Левченко О.В. \_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_

Київ 2019 рік

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

Спеціалізація - Інжиніринг пакування та пакувального обладнання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.В.Гондлях

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Демиденку Данилу Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Лінія фасування деревного вугілля в м'які контейнери з модернізацією натяжного пристрою

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Карвацький А.Я. \_\_\_\_\_,  
затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження: процеси дозування та фасування сипкої продукції

4. Предмет дослідження: механічний стан стрічкового дозатора \_\_\_\_\_

---

---

---

---

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Магістерська дисертація включає такі розділи: «Зміст», «Вступ», «Опис технологічної лінії пакування вугілля у м'які контейнери», «Технічні характеристики стрічкового дозатора стрічкового дозатора SWEDA DWL-1000», «Патентно-літературний огляд з модернізації стрічкового дозатора», «Вибір та обґрунтування модернізації стрічкового дозатора», «Інженерні розрахунки стрічкового дозатора», «Монтаж і експлуатація стрічкового дозатора», «Автоматизація технологічної лінії пакування деревного вугілля у м'які контейнери», «Стартап проекту», «Охорона праці», «Модернізація стрічкового дозатора», «Висновки»

6. Перелік графічного (ілюстративного) \_\_\_\_\_  
 ЛУ81мп.065165.000-90ТС – Лінія фасування вугілля в м'які контейнери з модернізацією натяжного пристрою; \_\_\_\_\_  
 ЛУ81мп.065183.001-90ВЗ – Стрічковий дозатор; \_\_\_\_\_  
 ЛУ81мп.069182.002-90СК – Натяжний пристрій стрічкового дозатора; \_\_\_\_\_  
 ЛУ81мп.069182.003-90СК – Індикатор просипання стрічкового дозатора; \_\_\_\_\_  
 ЛУ81мп.069182.004-90СК – Барабан стрічкового дозатора; \_\_\_\_\_  
 ЛУ81мп.069182.005-90СК – Модернізований барабан стрічкового дозатора; \_\_\_\_\_  
 ЛУ81мп.065180.006-90ПЛ – 3D моделі барабану стрічкового дозатора; \_\_\_\_\_  
 ЛУ81мп.065180.007-90ПЛ – Результати розрахунків НДС валу базової і модернізованої конструкції; \_\_\_\_\_  
 ЛУ81мп.065180.008-90ПЛ – Результати розрахунку НДС шини модернізованого барабану стрічкового дозатора; \_\_\_\_\_  
 ЛУ81мп.065169.009-90ПЛ – Схема автоматизації лінії пакування вугілля. \_\_\_\_\_  
 7. Орієнтовний перелік публікацій: \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Монтаж і експлуатація обладнання	Борщик С.О., ст.викл.		
Модернізація	Щербина В.Ю., проф.		
Автоматизація	Левченко О.В., доц.		
Перевірка на оригінальність	Щербина В.Ю., доц.		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вступ		
2	Опис технологічної лінії пакування вугілля у м'які контейнери		
3	Технічні характеристики стрічкового дозатора стрічкового дозатора SWEDA DWL-1000		
4	Патентно-літературний огляд з модернізації стрічкового дозатора		
5	Вибір та обґрунтування модернізації стрічкового дозатора		
6	Інженерні розрахунки стрічкового дозатора		
7	Монтаж і експлуатація стрічкового дозатора		
8	Автоматизація технологічної лінії пакування деревного вугілля у м'які контейнери		
9	Стартап проекту		
10	Охорона праці		
11	Модернізація стрічкового дозатора		
12	Висновки		
13	Оформлення ПЗ		
14	Оформлення креслень		

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Демиденко Д.В.

Керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

Карвацький А.Я.

## РЕФЕРАТ

УДК 621.798.4

Магістерська дисертація «Лінія фасування деревного вугілля в м'які контейнери з модернізацією натяжного пристрою» / Д. В. Демиденко. КІП ім. Ігоря Сікорського; н.керівник А. Я. Карвацький. Робота містить: \_\_ с., \_\_ рис., \_\_ табл., \_\_ дод., \_\_ посилань.

**Об'єкт дослідження:** процеси дозування та фасування сипкої продукції.

**Предмет дослідження:** механічний стан стрічкового дозатора.

**Мета роботи:** модернізація вузла натяжного пристрою стрічкового конвеєра лінії фасування деревного вугілля в м'які контейнери та дослідження фізичних полів пакувального обладнання для підтвердження його експлуатаційної придатності.

**Результати роботи та їх новизна.** У результаті виконаних у дисертації досліджень вперше отримані такі наукові результати:

- 1) Дослідження механічного стану обладнання з метою визначення працездатності запропонованої модернізації вузла натяжного пристрою стрічкового конвеєра з використанням розроблених континуальних числових моделей устаткування.
- 2) Аналіз достовірності отриманих результатів числового моделювання вузлів з врахуванням великих деформацій, спричинених гіпереластичними механічними властивостями матеріалів.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у такому:

- 1) Розробка в середовищі Solidworks твердотільних моделей вузлів стрічкового живильника SWEDA DWL-1000 базової та модернізованої конструкцій та виконання відповідних складальних креслень.
- 2) Розробка геометрично нелінійної числової моделі механічного стану вузла натяжного пристрою стрічкового конвеєра модернізованої конструкції.

За темою дисертації самостійно опубліковано 2 друковані праці – 2 тези доповідей у збірниках доповідей науково-технічних конференцій.

СТРІЧКОВИЙ ДОЗАТОР, НАТЯЖНИЙ ПРИСТРІЙ, ДЕРЕВНЕ ВУГІЛЛЯ, ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН, ПАКОВАННЯ, М'ЯКІ КОНТЕЙНЕРИ.

## ABSTRACT

UDK 621.798.4

Master's thesis " Charcoal packaging line in soft containers with tensioning device modernization" / D.V. Demydenko. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; scientific director A. Ya. Karvatskii. The manuscript contains: \_\_ p., \_\_ fig., \_\_ tabl., \_\_ appendix, \_\_ reference.

**Object of research:** processes of dispensing and packing of bulk products.

**Subject of research:** mechanical condition of the tape dispenser.

**The objective of the work:** modernization of the assembly line of the belt conveyor of the conveyor line for packaging charcoal into soft containers and investigation of the physical fields of the packaging equipment to confirm its serviceability.

**The results of the work and their originality.** As a result of the research carried out in the dissertation, the following scientific results were obtained for the first time:

- 1) Investigation of the mechanical condition of the equipment in order to determine the operability of the proposed modernization of the belt conveyor tensioning unit assembly using the developed continuous numerical equipment models.
- 2) Analysis of the reliability of the obtained results of numerical modeling of the units with consideration of large deformations caused by the hyperelastic mechanical properties of the materials.

**The practical significance of the results obtained** is as follows:

- 1) Development in Solidworks environment of solid-state models of SWEDA DWL-1000 feeder assemblies of basic and modernized structures and execution of corresponding assembly drawings.
- 2) Development of a geometrically nonlinear numerical model of the mechanical condition of the belt conveyor assembly of a belt conveyor of a modernized design.

On the topic of the dissertation, 2 printed works were independently published - 2 abstracts in the collections of reports of scientific and technical conferences.

TAPE DISPENSER, TENSION DEVICE, VARIOUS COAL, NUMERICAL MODELING, TENSION-DEFORMED CONDITION, PACKAGING, SOFT CONTAINERS.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	9
ВСТУП .....	11
1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПАКУВАННЯ ВУГІЛЛЯ У М'ЯКІ КОНТЕЙНЕРИ. ....	12
2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА SWEDA DWL-1000 .....	14
3 ПАТЕНТНО-ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД З МОДЕРНІЗАЦІЇ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА .....	17
4 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА .....	26
5 ІНЖЕНЕРНІ РОЗРАХУНКИ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА. ....	29
5.1 Параметричні розрахунки стрічкового дозатора .....	29
5.2 Вибір електродвигуна стрічкового дозатора. ....	33
5.3 Кінематичні розрахунки редуктора стрічкового дозатора. ...	34
5.4 Розрахунки на міцність стрічкового дозатора. ....	35
6 МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА ....	37
6.1 Складання вузла. ....	37
6.2 Монтаж на фундаменті. ....	41
6.3 Експлуатація машини. ....	47
7 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПАКУВАННЯ ДЕРЕВНОГО ВУГІЛЛЯ У М'ЯКІ КОНТЕЙНЕРИ. ....	50
7.1 Опис роботи лінії фасування вугілля у м'які контейнери. ...	50
7.2 Розгляд функціональних модулів. ....	50
7.3 Виконання розробки логіки. ....	56
7.4 Керуючі команди. ....	58
8 СТАРТАП ПРОЕКТУ .....	62
8.1 Опис ідеї стартап проекту. ....	62

8.2 Технологічний аудит ідеї стартап проекту. ....	64
8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту. ....	65
8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап проекту. ....	65
9 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ. ....	68
10 МОДЕРНІЗАЦІЯ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА. ....	74
10.1 Розробка 3D моделей базової і модернізованої конструкцій натяжного барабана стрічкового дозатора. ....	74
10.2 Розрахунки на міцність базової конструкції натяжного барабана стрічкового дозатора. Визначення запасу міцності . . . . .	77
10.3 Розрахунки на міцність модернізованої конструкції натяжного барабана стрічкового дозатора. Визначення запасу міцності	82
10.4 Підтвердження працездатності модернізованого вузла натяжного пристрою стрічкового дозатора . . . . .	95
10.5 Аналіз достовірності отриманих результатів . . . . .	96
ВИСНОВКИ. ....	100
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ . . . . .	102
ДОДАТОК А. КРЕСЛЕННЯ І ПЛАКАТИ . . . . .	
ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЇ. ....	
ДОДАТОК В. КОПІЇ ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ . . . . .	



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- $\rho$  – об’ємна маса матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;
- $v$  – швидкість руху стрічки, м/с;
- $\beta$  – кут нахилу живильника, град;
- $I$  – сила струму, А;
- $\varphi$  – коефіцієнт заповнення живильника;
- $K_p$  – коефіцієнт, що враховує опір руху роликів;
- $\mu$  – коефіцієнт тертя в цапфі роликів;
- $f$  – плече тертя кочення роликів, м
- $K_{вт}$  – коефіцієнт, що враховує втрати на перегин стрічки;
- $\eta_y$  – коефіцієнт корисної дії урухомника;
- $P_V$  – продуктивність стрічкового дозатора, м<sup>3</sup>/год;
- $K_W$  – коефіцієнт опору руху;
- $K_p$  – коефіцієнт, що враховує опір руху роликів;
- $q_1$  – сила тиску на 1 м погонної довжини стрічки, Н/м;
- $W_0$  – тягове зусилля в стрічці, Н;
- $N$  – потужність двигуна урухомника, кВт;
- $S_n$  – зусилля натягу в обраній точці стрічки, Н;
- $w$  – коефіцієнт опору руху;
- $q_0$  – погонна маса настилу живильника, кг/м;
- $k_n$  – коефіцієнт, який залежить від типу настилу;
- $P$  – тягове зусилля на приводних барабанах, Н;
- $W_{пз}$  – сила опору на приводному барабані, Н;
- $D_{зв}$  – висота бортів, мм;
- $z$  – кількість зубців, м;
- $\eta_{зуб}$  – ККД зубчастої передачі;
- $\eta_{підш}$  – ККД підшипників;
- $\eta_{муфти}$  – ККД муфти;

$P_{вих}$  – потужність двигуна, кВт;

$U_d$  – дійсне фактичне передавальне число;

$T$  – обертовий момент, Н·м;

$E$  – модуль пружності, МПа;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона;

$\sigma_T$  – границя плинності, МПа;

$\sigma_B$  – границя міцності, МПа.

НВП – Науково-виробниче підприємство.

## ВСТУП

У хімічній промисловості в умовах загострення конкуренції на ринку особливу роль приділяють якості товару, під яким розуміють сукупність властивостей, які відповідають вимогам споживача. При цьому якість товару складається з якостей продукту і упаковки.

Принцип роботи лінії пакування вугілля в м'яку тару полягає в послідовному виконанні необхідних технологічних операцій, а саме подрібнення вугілля, грохочення, щоб поділити вугілля на фракції. Далі за допомогою стрічкових дозаторів вугілля постачається до машин пакування у мішки BIG BAG.

Якість упаковки залежить від:

- якості пакувального матеріалу;
- рівня художнього оформлення продукції (дизайн, поліграфія);
- технічної досконалості технологічного обладнання фінішних операцій.

Залежно від виду упаковки є різні машини для фасування вугілля в м'яку тару.

У магістерській дисертації розглянуто лінію для пакування вугілля в м'яку тару з модернізацією стрічкового дозатора для дозування вугілля перед пакуванням [1]. Тема магістерської дисертації є безумовно актуальною, оскільки спрямована на зменшення габаритних розмірів і маси та підвищення надійності роботи фасувально-пакувального обладнання готової продукції.

Об'єкт дослідження: процеси дозування та фасування сипкої продукції.

Предмет дослідження: механічний стан стрічкового дозатора.

Мета роботи: модернізація вузла натяжного пристрою стрічкового конвеєра лінії фасування деревного вугілля в м'які контейнери та дослідження фізичних полів пакувального обладнання для підтвердження його експлуатаційної придатності.

# 1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПАКУВАННЯ ВУГІЛЛЯ У М'ЯКІ КОНТЕЙНЕРИ

Лінія пакування вугілля в м'яку тару призначена для пакування вугілля в мішки типу BIG BAG різних об'ємів.

Стрічковий дозатор дістав широкого застосування у фасувально-пакувальних лініях готового продукту. Він застосовується в хімічній, харчовій, гірничій та інших галузях промисловості. Розглянемо технологічну лінію [1] з використанням стрічкового дозатора на прикладі лінії з подрібнення та пакування вугілля, яка наведена на рисунку 1.1.

У технологічну лінію входять пластинчастий транспортер 1, пластинчастий живильник 2, щелепна дробарка з простим коливанням щелепи 3, пластинчастий живильник 4, грохот 5, стрічковий дозатор 6, відцентрова дробарка 7 та дозатор для пакування в мішки BIG-BAG 8.

Вугілля потрапляє на транспортер 1 та надходить до живильника 2, після чого потрапляє у щелепну дробарку 3, далі в грохоті 5 розділяється на три фракції. Дві менших за допомогою стрічкових дозаторів 6 йдуть до пакування у мішки BIG-BAG 8, а найбільша фракція йде на подальше подрібнення до відцентрової дробарки 7, після якої йде на пакування через стрічковий дозатор 6.

На рисунку 2.1 наведенні такі позначення: 1 – пластинчастий транспортер; 2 – пластинчастий живильник; 3 – щелепна дробарка з простим коливанням щелепи; 4 – пластинчастий живильник; 5 – грохот; 6 – стрічковий дозатор; 7 – відцентрова дробарка; 8 – дозатор для пакування в мішки BIG-BAG [2].

Розглянемо роботу лінії по окремим машинам, що входять до її складу.

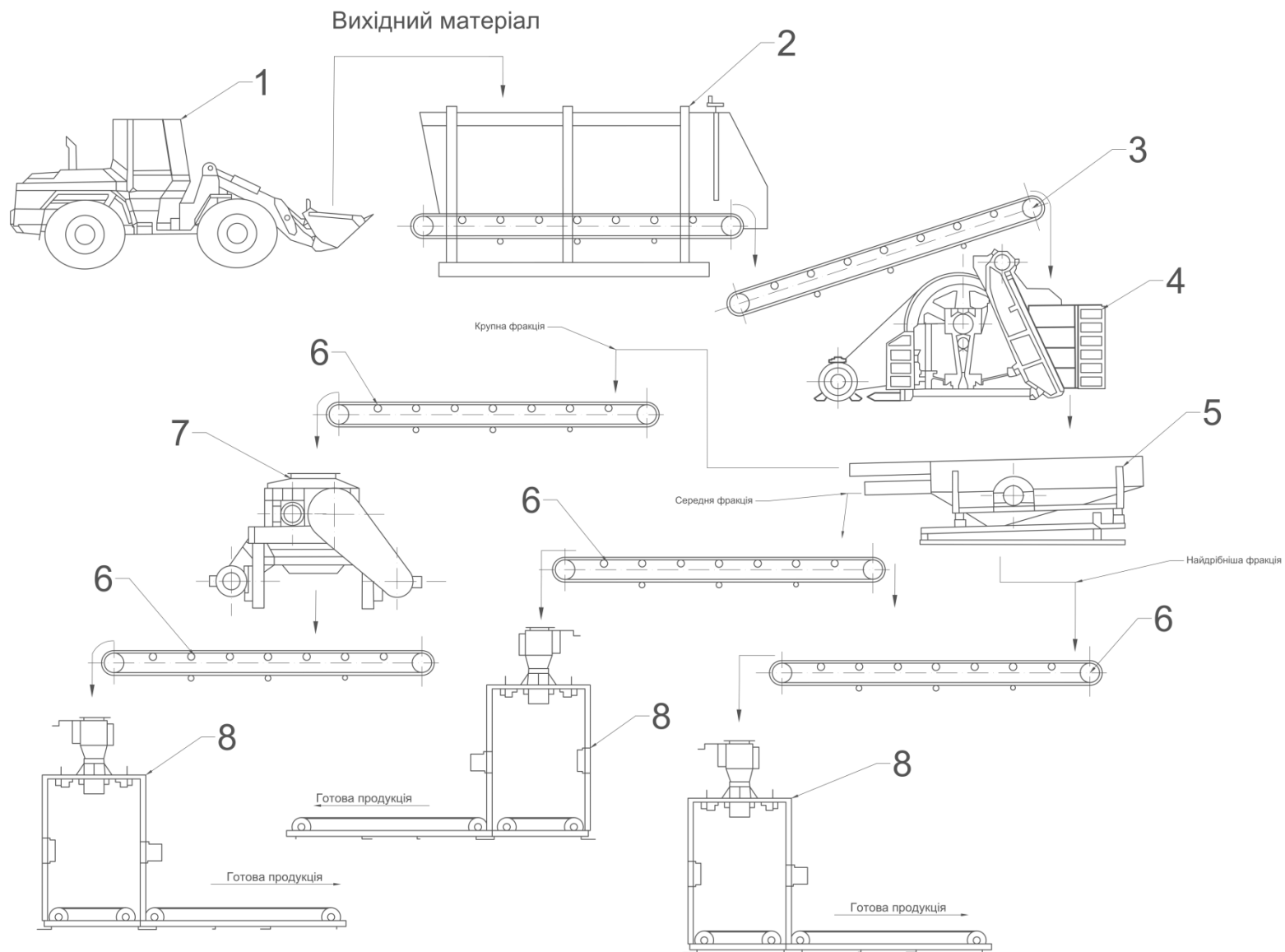


Рисунок 1.1. – Лінія фасування деревного вугілля в м'які контейнери

## **2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА SWEDA DWL-1000**

Дозатор ваговий стрічковий, автоматичний, безперервної дії призначений для підтримки заданої продуктивності і обліку сипучих матеріалів в потоці.

Принцип дії дозатора. У процесі роботи дозатора відбувається безперервне зважування матеріалу, що надходить з приймального бункера на стрічку дозатора з одночасним вимірюванням швидкості руху стрічки. На підставі цих даних ваговий процесор розраховує поточну (фактичну) продуктивність дозатора, і при відхиленні її від завдань виробляє керуючий сигнал на регульований частотний привід, змінюючи швидкість руху стрічки і тим самим підтримує задану продуктивність. Одночасно проводиться підрахунок сумарної маси матеріалу, що пройшов через дозатор.

Опис конструкції. Приймальний бункер забезпечує формування потоку матеріалу, що рухається по стрічці транспортера, для виключення його прокидання.

Транспортер складається з таких основних вузлів: рами, приводного і натяжного барабанів, транспортерної стрічки, яка спирається на роликові опори. Вся конструкція встановлюється на опорні лапи. Особливість конструкції - транспортер оснащений пристроєм автоматичної фіксації положення і натягу стрічки, а також пристроєм для її очищення.

Ваговий пристрій являє собою платформу з роликом, який передає зусилля від рухомого вантажу на тензодатчики, які жорстко закріплені на рамі. За тензодатчики використовуються датчики імпортного виробництва. Двигун-редуктор з електродвигуном асинхронного типу по сигналу з частотного приводу забезпечує переміщення стрічки транспортера. У дозаторі застосовується мотор-редуктор виробництва фірми "Eurodrive" (Німеччина), Motovario (Італія).

Пульти місцевого управління служать для управління транспортером під час налагодження дозатора, його ремонту, а також для індикації величини

поточної продуктивності. Кришка пульта служить лицьовою панеллю, на якій встановлені тумблер включення дозатора, перемикач режимів «Ручний» - «Автомат», потенціометр завдання швидкості стрічки.

Шафа управління містить ваговий процесор ПВ-310 і пристрій управління приводом. Процесор конструктивно виконаний у пило-бризко-захищеному пластмасовому корпусі (ступінь захисту IP65) обробляє сигнал з тензодатчика і датчика швидкості стрічки, визначає, управляє і відображає продуктивність дозатора. Пристрій управління приводом - здійснює управління частотою обертання асинхронного двигуна приводу.

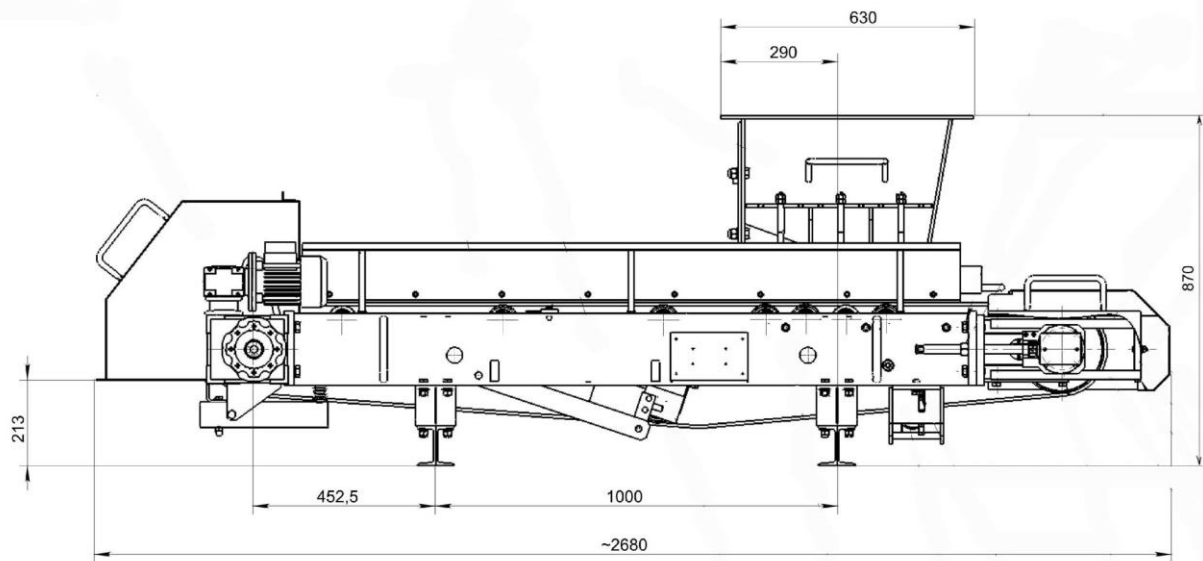


Рисунок 2.1 – Стрічковий дозатор SWEDA DWL-1000

Для виконання параметричних розрахунків згідно [4] в таблиці 2.1 наведені технічні характеристики стрічкового дозатора.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики стрічкового дозатора

Найменування показників	Норма
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	40
Швидкість стрічки, м/с	1.25
Об'ємна маса матеріалу, кг/м <sup>3</sup>	3000
Довжина живильника, м	2.8
Кут нахилу конвейера, °	0
Межа похибки дозування, в % від НВП	±0,5 (1,0)
Межа похибки вимірювання сумарної маси, %	±0,5 (1,0)
Температура експлуатації, ° С	От -20 до +50
Режим роботи	неперервний
Мінімальний термін експлуатації	10 років
Споживана потужність, кВт	до 3



### З ПАТЕНТНО-ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД МОДЕРНІЗАЦІЇ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА

Мета: провести патентно-літературний стрічкового дозатора для модернізації та вдосконалення конструкції механізму натягу стрічки.

Під час літературного огляду було досліджено джерела [1,2,3,4] і виявлено основні недоліки машин даного типу. До основних недоліків великих стрічкових дозаторів можна віднести вимогу до постійного підтримання натягу стрічки, яка в дозаторах такого типу є доволі м'якою, складність центрування стрічки на барабані та проблема повздовжнього розриву стрічки, що складніше піддається ремонту.

Результат пошуку патентів з модернізації механізму натягу стрічки зведено у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результат патентного пошуку

№	Номер патенту, дата публікації, індекс МПК	Автори винаходу	Мета винаходу
1	2016149912, B65G 23/04 19.12.2016 « Барабан ленточного конвейера»	Степанцов Михаил Анатольевич	Задача створення натяжного пристрою, у якому спрощена конструкція, зменшені габарити та маса пристрою у порівнянні з прототипом.
2	2116232, 19.03.1996, B65G 23/24 Натяжное устройство ленточного транспортера, преимущественно туннельных сушильных установок непрерывного действия	Муллагов М.Х., Зайнуллин Ф.Х., Нагимов А.Х., Валеев В.Ш.	Виключення будь-якої аварії зі стрічкою транспортера. Забезпечення плавних коливань та навантажень на стрічці транспортера.

3	2214355, 30.04.2002 B65G 23/24 Натяжное устройство ленточного конвейера	Мишнев А.В., Трифонов С.С., Ильяшевич В.Я., Клименко В.А.	Збільшується термін служби стрічки за рахунок забезпечення високої точності регулювання мінімально допустимого попереднього натягу стрічки в широких межах при будь-яких режимах роботи конвеєра.
4	49806, 06.09.2005, B65G 23/24 Натяжное самоустанавливающееся устройство ленточного конвейера	Ахрамков О.В. Середа С.В.	Впровадження самовстановлюючогося натяжного приладу стрічкового живильника.
5	2564937, 10.10.2015, B65G23/44 B65G43/06 Натяжное устройство ленточного конвеєра	Бахолдин А.М., Кизим С.О	Збільшення надійності машини, спрощення конструкції.
6	17670, 16.10.2006, B65G 23/00 Натяжной пристрій стрічки конвеєра	Бодло М.В. Вільянінов М.І.	Шляхом зміни конструкції підвищити надійність натяжного пристрою, механізувати його обслуговування.
7	94025230, 27.07.1996, B65G15/28 Ленточный конвеер	Боровлев В.И	Збільшення ККД двигуна та можливості регулювання потужності в залежності від об'єму транспортованого грузу, що забезпечує зниження енергомісткості транспортування грузу.
8	2281899, 20.08.2006, B65G15/08, B65G43/06 Бремсберговый ленточный конвеер	Тарасов Ю.Д.	Забезпечення можливості уловлювання обірваної стрічки конвеєра одночасно на вантажонесучій та холостій гілках стрічки.
9	2269465, 10.02.2006, B65G 15/00 Конвеер ленточный	Тарасов Ю.Д.	Технічний результат полягає в поєднанні функцій відхилення барабана і пристрою для очищення стрічки в одному пристрої з підвищенням

			ефективності очищення холостої гілки стрічки і надійності функціонування опор ковзання на холостій гілці стрічки.
10	51184, 15.03.2005, B65G23/00 Натяжний пристрій стрічкового конвеєра	Осипенко А.В., Виншневський О.Й., Новіков М.Ф.	Модернізація натяжного барабана таким чином ,що напрямні закріплені до стояків опор, а верхня поперечна зв'язка розташована в основі опори. Таким чином покращити зручність обслуговування живильника.
11	35589, 25.09.2008, B65G 23/00 «Візковий натяжний пристрій стрічкового конвеєра»	Щеглов Олег Михайлович ,Суглобов Володимир Васильович, Барановський Вадим В'ячеславович, Бураковський Валентин Олександрович	Забезпечення підвищення надійності роботи і безпеки експлуатації візкових натяжних пристроїв стрічкових конвеєрів за рахунок гальмування і зупинки візка з натяжним барабаном в межах її робочої зони.
12	2016145335, 18.11.2016, B65G 43/02 Устройство контроля продольного порыва ленты для ленточного конвейера	Агафонов Филипп Николаевич Вдовин Виктор Олегович	Підвищення надійності контролю цілісності стрічки при завантаженні матеріалу

У патенті [5] описується натяжний пристрій стрічки конвеєра (рисунок 5.1). В основу корисної моделі поставлена задача створення натяжного пристрою, у якому спрощена конструкція, зменшені габарити та маса пристрою порівняно з прототипом. Поставлену задачу вирішують тим, що на зовнішній циліндричній поверхні привідного і хвостового барабанів, за їх всією довжиною, нерухомо закріплені циліндричні герметичні порожнисті еластичні елементи, внутрішні порожнини яких з'єднані патрубками із зовнішньою гідро- або пневмосистемою, з можливістю зміни розмірів діаметрів привідного і

хвостового барабанів, крім цього до торців привідного і хвостового барабанів нерухомо закріплені циліндричні реборди, а зовнішні циліндричні поверхні циліндричних герметичних порожнистих еластичних елементів виконано гладкими з підвищеною жорсткістю або з рифлями.

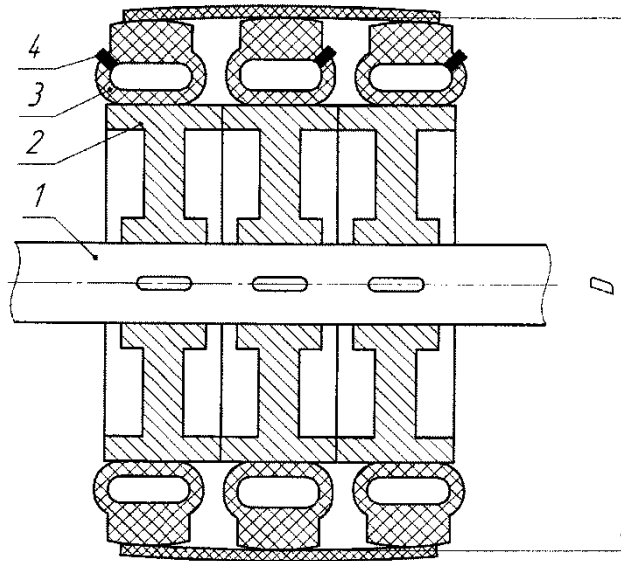


Рисунок 3.1 – Конструкція натяжного пристрою за патентом RU 2016149912

Ціллю модернізації є збільшення надійності барабану стрічкового конвеєра та автоматизація його роботи з натягу стрічки та її центруванню.

У патенті [6] розглядається натяжний пристрій стрічкового конвеєра (рисунок 5.2). До переваг конструкції натяжного пристрою за патентом RU 2458842 відносяться: зменшення розмірів робочої зони в хвостовій частині конвеєра, спрощення конструкції привода переміщення барабану натяжного пристрою стрічкового конвеєра. Зменшення розмірів робочої зони в хвостовій частині також спрощує обслуговування пристрою, та скорочує час його ремонту. Спрощена конструкція барабану зменшує затрати на ремонт деталей, та підвищує надійність пристрою.

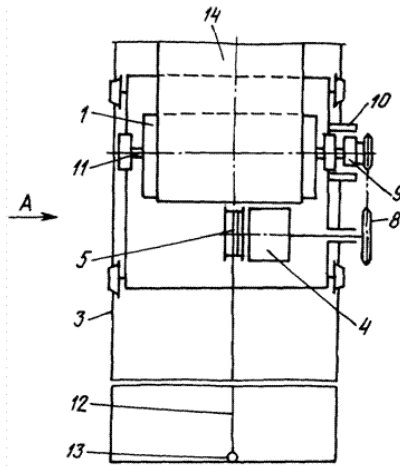


Рисунок 3.2 – Конструкція натяжного пристрою за патентом RU 2458842

У патенті [7] запропонована конструкція натяжного пристрою, переважно для тунельних сушильних установок безперервної дії (рисунок 5.3).

Переваги натяжного пристрою за патентом RU 2214355: зверху і знизу робочої пластини за умовою розрахунку його прогину встановлені кінцеві вимикачі приводу конвеєра, тим самим виключається будь-яка з аварій із стрічкою транспортера. Також забезпечується плавне коливання навантажень на стрічці транспортера.

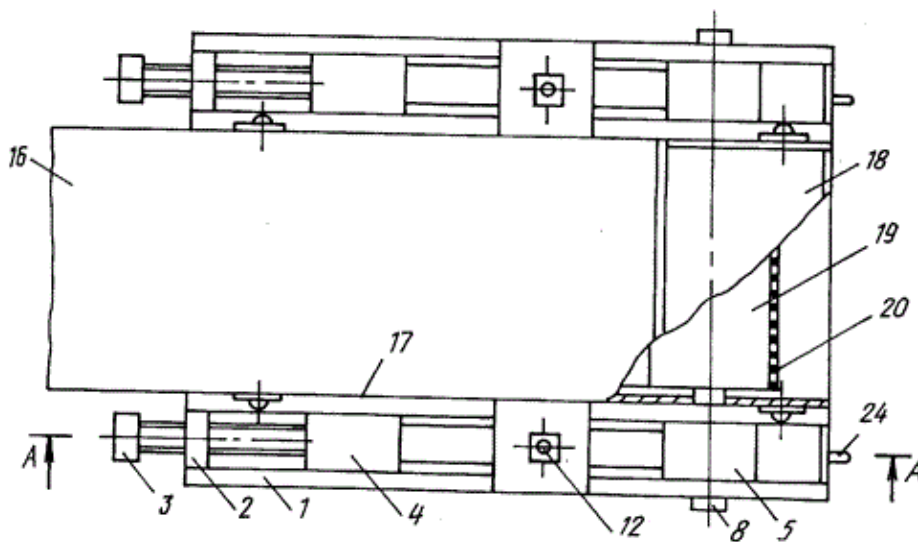


Рисунок 3.3 – Конструкція натяжного пристрою за патентом RU 2214355

Конструкція [8] натяжного пристрою спрямована на досягнення точного регулювання натягу стрічки та забезпечує збільшення терміну служби стрічки за рахунок високої точності регулювання мінімально допустимого попереднього натягу стрічки в широких межах за будь-яких режимів роботи

конвеєра. При цьому пристрій має спрощену конструкцію, зменшені габарити та споживає меншу потужність (рисунок 5.4).

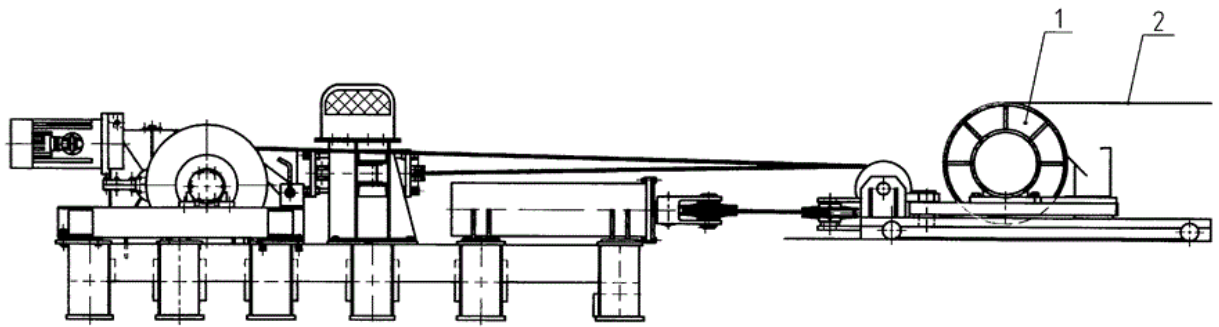


Рисунок 3.4 – Конструкція натяжного пристрою за патентом RU 49806

Саморегулюючий натяжний пристрій [9] забезпечує контроль натягу, та контроль навантажень на стрічці. Недоліком є те, що конструкція складається з багатьох складних деталей, які швидко зношуються, тобто – недовговічність конструкції (рисунок 5.5).

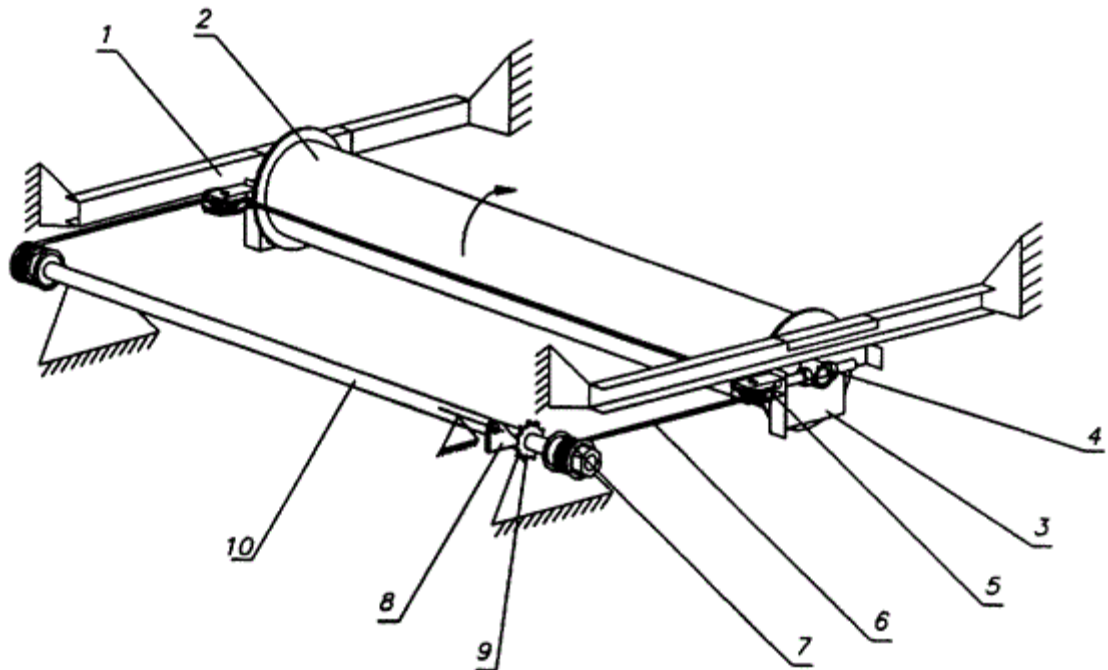


Рисунок 3.5 – Конструкція натяжного пристрою за патентом RU 2564937

У патенті [10] розроблено пристрій, який уловлює стрічку після її розриву (рисунок 5.6).

Натяжний пристрій стрічкового конвеєра за патентом UA 17670 має спрощену конструкцію, яка вловлює стрічку і дозволяє забезпечити надійну фіксацію вантажу.

Недоліками даного пристрою є:

- ненадійність органу, який вловлює,
- недовговічність,
- складна конструкція.

Технічною задачею винаходу є підвищення надійності пристрою за умови спрощення конструкції.

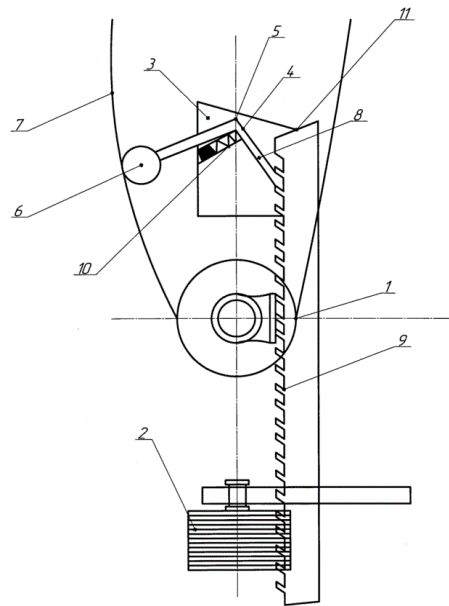


Рисунок 3.6 – Конструкція натяжного пристрою за патентом UA 17670

У [11] наведено вертикальний натяжний пристрій (рисунок 5.7). Недоліком прототипу є велика металоємність пристрою із-за необхідності збільшення довжини напрямних при збільшенні ходу натяжки. Крім того, при використанні відомого натяжного пристрою на конвеєрах великої продуктивності, особливо на живильниках гірничорудних машин, внаслідок великих інерційних мас під час пуску конвеєрів під завалом, відбуваються поломки натяжного гвинта, внаслідок чого порушується натяг тягового органу, а це в свою чергу приводить до виходу з ладу приводу конвеєра. Застосування натяжного пристрою стрічки конвеєра забезпечує надійність, технологічність, компактність конструкції.

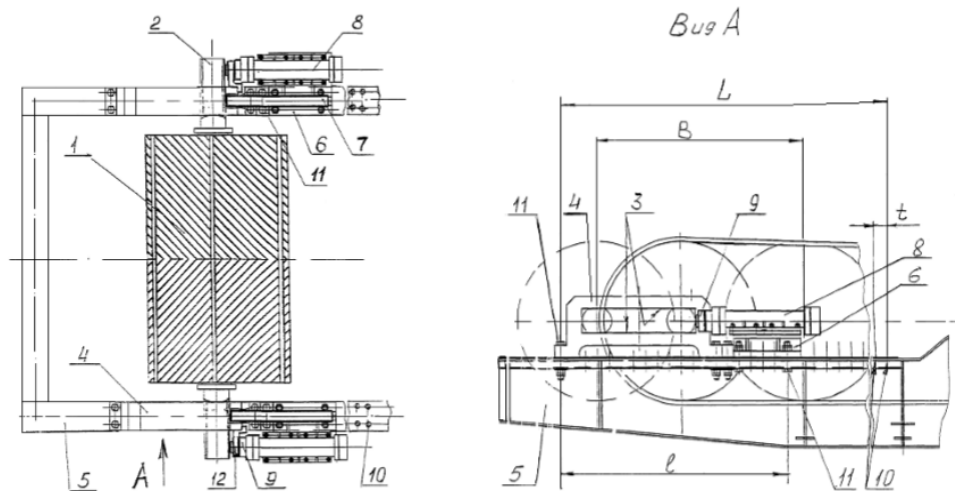


Рисунок 3.7 – Конструкція натяжного пристрою за патентом RU 94025230

У патенті [12] живильник розроблений для мінімізації енергозатрат на виробництві. За рахунок оснащення блоками контролю потужності кожного з електродвигунів, зменшуються енергозатрати на виробництві. При цьому підвищується ККД двигунів, та є можливість регулювання потужності в залежності від об'єму транспортованого вантажу.

У [13] наведено бремсберговий стрічковий живильник (рисунок 5.8).

Головною перевагою живильника за патентом RU 2281899 є забезпечення можливості уловлювання обірваної стрічки конвеєра одночасно на навантаженій і холостій гілках стрічки. Дана конструкція конвеєра запобігає так званому «зажовуванні» стрічки, та її подальшому пошкодженню після розриву. Запропонована конструкція також запобігає пошкодженню інших важливих деталей та механізмів стрічкою, яка обірвалася.

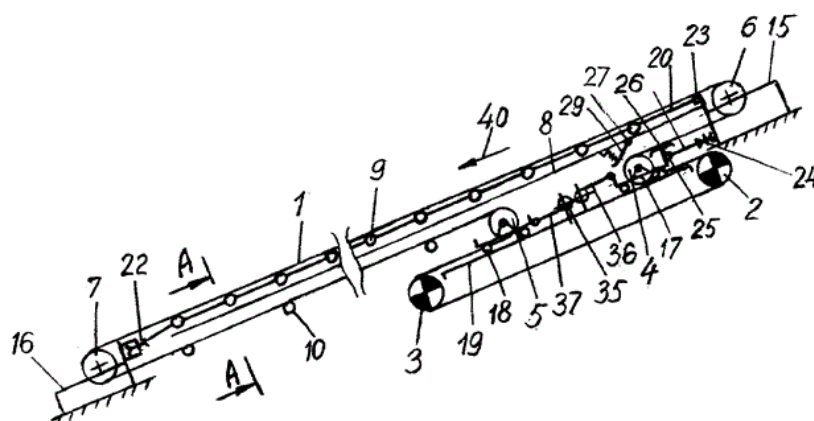


Рисунок 3.8 – Конструкція натяжного пристрою за патентом RU 2281899



У патенті [14] розроблено стрічковий живильник (рисунок 5.9).

Основна перевага розробленої конструкції полягає в поєднанні функцій відхиляючого барабана і пристрою для очищення стрічки в одному пристрої, що забезпечує підвищення ефективності очищення холостої вітки стрічки та надійності функціонування опор ковзання на холостій гілках стрічки. Недоліком конструкції є те, що стрічка при цьому стає недовговічною, втрачає свої робочі властивості.

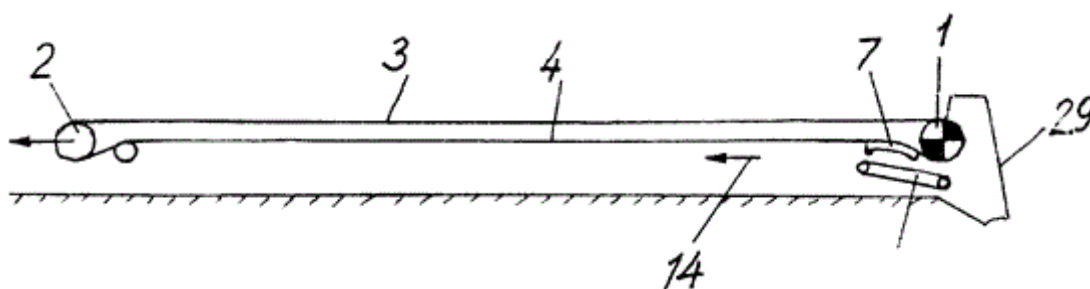


Рисунок 3.9 – Конструкція натяжного пристрою за патентом RU 2269465

У патенті [15] наведено натяжний пристрій (рисунок 5.10).

До недоліків цієї конструкції натяжного пристрою слід віднести значні капітальні витрати на спорудження рейкової колії, утруднення операції забирання просипу на ділянці переміщення візка.

Одним з недоліків відомого натяжного пристрою є значне заштибування напрямних, які знаходяться безпосередньо під натяжним барабаном, що за певних умов призводить до ривків під час переміщення візка, а інколи до його заклинювання.

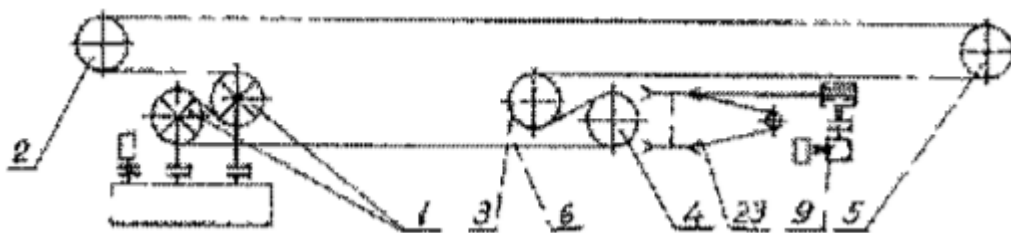


Рисунок 3.10 – Конструкція натяжного пристрою за патентом UA 51184

У патенті [16] пристрій контролю розриву стрічки стрічкового конвеєра (рисунок 3.11).

Пристрій контролю поздовжнього пориву стрічки для стрічкових конвеєрів складається з лотка вигнутої форми з ребрами і отворами, підвішеного під робочою гілкою стрічки в зоні завантаження конвеєра, тензодатчиків, налаштованих на певну вагу лотка і з'єднаних механічно з лотком.

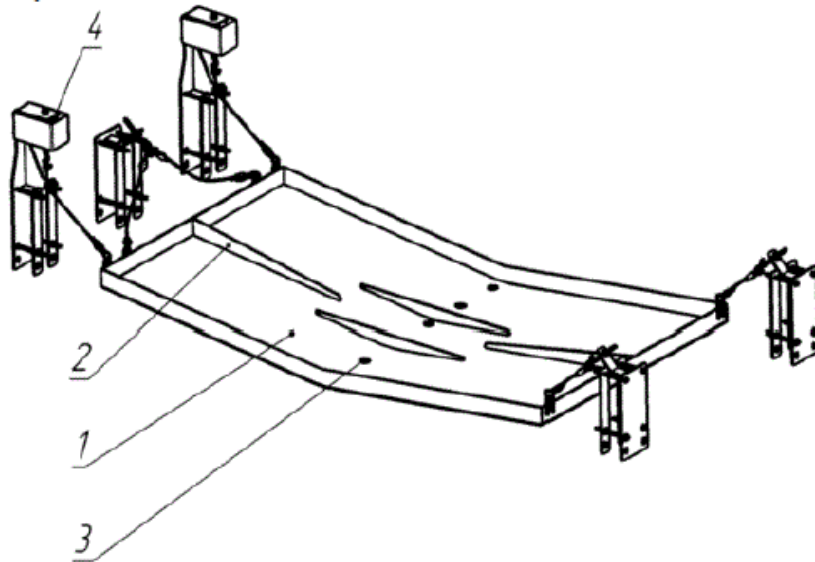


Рисунок 3.11 – Конструкція пристрою за патентом RU 170950

## 4 ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА

В результаті патенто-літературного огляду було обрано за основу для модернізації патент на корисну модель RU 2016149912, «Барабан ленточного конвейера». В основу корисної моделі поставлена задача створення натяжного пристрою, в якому спрощена конструкція, зменшені габарити та маса пристрою порівняно з прототипом. Поставлену задачу вирішують тим, що на зовнішній циліндричній поверхні привідного і хвостового барабанів, за їх всією довжиною, нерухомо закріплені циліндричні герметичні порожнисті еластичні елементи, внутрішні порожнини яких з'єднані патрубками із зовнішньою гідро- або пневмосистемою, з можливістю зміни розмірів діаметрів привідного і хвостового барабанів, крім цього до торців привідного і хвостового барабанів нерухомо закріплені циліндричні реборди, а зовнішні циліндричні поверхні циліндричних герметичних порожнистих еластичних елементів виконані підвищеної жорсткості гладкими або з рифлями.

Модернізація забезпечує збільшення надійності барабану стрічкового конвеєра та автоматизацію його роботи з натягу стрічки та її центруванню.

Як додаткова модернізація було обрано патент RU 170950 «Устройство контроля продольного порыва ленты для ленточного конвейера» Пристрій контролю поздовжнього пориву стрічки для стрічкового конвеєра містить лоток 1 з ребрами 2 і отворами 3, підвішений під робочою гілкою стрічки в зоні завантаження, тензодатчиків 4, налаштованих на певну вагу лотка 1. Пристрій контролю поздовжнього пориву стрічки для стрічкового конвеєра працює в такий спосіб. При своєму русі конвеєрна стрічка спирається на роликоопори з циліндричними роликами, утворюючи жолоб, в якому розміщується матеріал. В випадку поздовжнього пориву конвеєрної стрічки матеріал прокидається через отвір в лоток 1. Під впливом маси просипи транспортується відбувається збільшення ваги лотка 1, який впливає на зміну показань тензодатчиків 4. Після перевищення максимально допустимого значення виставленого для тензодатчиків 4 миттєво відбувається спрацьовування сигналу автоматики конвеєра на його відключення. Ребра 2 призначені для жорсткості конструкції.

Отвори 3 призначені для зручності очищення лотка 1 від просипу, пилу та інших дрібних частинок механізованим або ручним інструментом (рисунки 3.12). Своєчасне швидке спрацювання пристрою контролю пориву стрічки для стрічкового конвеєра при пориві конвеєрної стрічки забезпечує, в тому числі, її збереження по всій довжині після зупинки конвеєра і заміну тільки невеликої місцевої ділянки пошкодженої стрічки. Така конструкція пристрою контролю поперечного пориву стрічки для стрічкового конвеєра є універсальною для будь-яких кліматичних умов експлуатації (Від плюс 50 до - 50 ° С) і дозволяє збільшувати довговічність роботи стрічкових конвеєрів, знизити матеріальні витрати за простоїв конвеєра, викликаного ремонтом або заміною стрічки, а також прибиранням просипів уздовж станини конвеєра, знизити матеріальні витрати на часткову і / або повну заміну розрізаної конвеєрної стрічки, тому що стрічка є найдорожчою частиною стрічкового конвеєра.

## 5 ІНЖЕНЕРНІ РОЗРАХУНКИ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА

### 5.1 Параметричні розрахунки стрічкового дозатора

При розрахунку ширини стрічки приймаємо швидкість руху стрічки при транспортуванні вугілля  $V = 1,25$  м/с.

Розраховуємо ширину стрічки – головний параметр стрічкового живильника за формулою (5.1) згідно [3]:

$$B = 1,1 \cdot \left( \sqrt{\frac{\Pi}{k_y c v \gamma_p}} + 0,05 \right), \quad (5.1)$$
$$B = 1,1 \cdot \left( \sqrt{\frac{600}{0,99 \cdot 625 \cdot 1,25 \cdot 1,9}} + 0,05 \right) = 0,75 \text{ м},$$

де  $c$  – коефіцієнт продуктивності,  $c = 625$  для жолобчатої трьох-роlikової опори з кутом нахилу бокового ролика  $\alpha = 30^\circ$  та кутом укусу насипного вантажу на стрічці при її руху  $\varphi_D = 16^\circ$ .

Для запобігання просипання вантажу зі стрічки на нахиленому живильнику розрахункову продуктивність коректують коефіцієнтом  $k_y$ , приймаємо  $k_y = 0,99$ .

$\gamma_p$  – насипна маса вантажу, яка взята з таблиці LXXIX [4],  $\gamma_p = 1,9$ .

При складі шматків розміром  $a_{\max} = 40$  мм в кількості 12% від загальної маси ширина смуги повинна задовольняти умові:

$$B \geq (2,7 \dots 3,2) a_{\max} = (2,7 \dots 3,2) 40 = 108 \dots 128 \text{ мм}. \quad (5.2)$$

Згідно ГОСТ 20-76 приймаємо ширину стрічки 800 мм [6].

Приймаємо привід живильника з одним ведучим барабаном, кут обтиску якого  $\alpha = 180^\circ$ . Поверхня барабана футерована гумкою.

Натяг набігаючої гілки стрічки згідно формулі Ейлера:

$$S_5 \leq S_1 e^{f\alpha} = 5,34 S_1, \quad (5.3)$$

Де  $f$  – коефіцієнт тертя стрічки по гумі.  $f = 0,40$  при  $\alpha = 180^\circ$  та  $f = 0,40 e^{f\alpha} = 5,34$  (додаток LXXI) [6].

В попередньому рівнянні два невідомих члена  $S_5$  і  $S_1$ . Для складення другого рівняння потрібен тяговий контур від точки 1 до точки 5.

Для послідовного розрахунку необхідні погонні навантаження:

1. Від вантажу, що транспортується:

$$q = \frac{P}{3,6 \cdot v} = \frac{600}{3,6 \cdot 1,25} = 133 \text{ кгс/м} = 1330 \text{ Н/м} \quad (5.4)$$

2. Від ваги обертових частин роликів:

Робочої гілки

$$q_p' = \frac{G_p'}{l_p'} = \frac{22}{1,3} = 16,9 \text{ кгс/м} = 169 \text{ Н/м} \quad (5.5)$$

Холостої гілки

$$q_p'' = \frac{G_p''}{l_p''} = \frac{19}{3,25} = 5,85 \text{ кгс/м} = 58,5 \text{ Н/м} \quad (5.6)$$

$G_p', G_p''$  – маса частин роликів, що обертаються, опор відповідно для підтримання робочої і холостої гілок;  $G_p' = 22$  кг,  $G_p'' = 19$  кг згідно таблиці 52 [4].

$l_p'$  – відстань між ролик-опорами робочої гілки, приймаємо  $l_p' = 1,3$  м.

$l_p''$  – відстань між ролик-опорами холостої гілки,

$$l_p'' = (2 \dots 2,5) l_p' = (2 \dots 2,5) \cdot 1,3 = 3,25 \text{ м.} \quad (5.7)$$

3. Від ваги стрічки. Задавшись кількістю прокладок стрічки  $i = 6$ , визначаємо її масу:

$$Q_0 = 1,1B (\delta_i + h_1 + h_2) = 1,1 \cdot 0,8 (1,25 \cdot 6 + 4 + 2) = 11,88, \quad (5.8)$$

де 110 – питома маса стрічки, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta = 1,25$  мм – товщина прокладки;

$h_1 = 4$  мм – товщина верхньої прокладки;

$h_2 = 2$  мм – товщина нижньої прокладки.

Натяг в характерних точках тягового контуру:

$$S_2 = S_1 q_0 L_{1-2} (\omega' \cos \beta - \sin \beta) + q_p'' L_{1-2} \omega' = S_1 + 11,88 + 13,33 \cdot (0,035 \cos 4^\circ - \sin 4^\circ) + 5,85 \cdot 13,33 \cdot 0,035 = S_1 + 14,14. \quad (5.9)$$

$$S_3 = R S_2 = 1,05 S_2 = 1,05 (S_1 + 14,14), \quad (5.10)$$

де  $R = 1,05$  – коефіцієнт за умови кута обхвату стрічкою  $= 180^\circ$ .

$$S_4 = S_3 + W_{\text{зав.}} = 1,05 (S_1 + 14,14) + 99,58 = 1,05 S_1 + 114,42. \quad (5.11)$$

Опір руху стрічки:

$$W = \frac{c \cdot \Pi}{3,6d} (\nu - \nu_0 + f_1 \sqrt{2gh'}), \quad (5.12)$$

$$W = \frac{1,5 \cdot 600}{3,6 \cdot 9,81} (1,25 + 0,6 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1}) = 99,58, \quad (5.13)$$

де  $c$  – коефіцієнт, який враховує опір руху від тертя вантажу по боковим стінкам завантажувальної воронки і по стрічці,  $c = 1$ ;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення сили тяжіння;

$h'$  – висота падіння вантажу на стрічку,  $h' = 1,0 \text{ м}$ ;

$\nu_0$  – складова швидкості вантажу вздовж стрічки, для даного випадку

$$\nu_0 = 0;$$

$$S_5 = R^2 S_4 = 1,05^2 \cdot (1,05 S_1 + 114,42) = 1,1 S_1 + 126,15; \quad (5.14)$$

$R = 1,05$  – кут обхвату стрічкою  $= 180^\circ$ .

$$S_5 = 3,51 S_1$$

$$3,51 \cdot S_1 = 1,1 S_1 + 126,15.$$

$$2,41 S_1 = 126,15.$$

$$S_1 = 52,34.$$

Підставимо значення  $S_1$  в перше рівняння і отримаємо:

$$S_5 = 1,1 S_1 + 126,15 = 1,1 \cdot 52,34 + 126,15 = 183,72. \quad (5.15)$$

Знаходимо числові значення на тяжіння стрічки в характерних точках:

$$S_2 = S_1 + 14,14 = 52,34 + 14,14 = 66,48; \quad (5.16)$$

$$S_3 = 1,05 (S_1 + 14,14) = 1,05 \cdot 52,34 + 1,05 \cdot 14,14 = 69,8; \quad (5.17)$$

$$S_4 = 1,05 S_1 + 114,42 = 1,05 \cdot 52,34 + 114,42 = 169,38. \quad (5.18)$$

Максимальний прогін стрічки повинен задовольняти рівнянням:

для холостої гілки при  $l_p'' = 1,25 \text{ м}$

$$y_{\text{max}} = \frac{q_0 (l_p'')^2}{8 S_{\text{min}}} \leq 0,025 l_p'', \quad (5.19)$$

$$y_{\max} = \frac{11,88(3,25)^2}{849,21} = 0,031 \leq 0,025l_p'' = 0,08 \text{ м};$$

для робочої гілки при  $l_p' = 1,3 \text{ м}$

$$y_{\max} = \frac{(q + q_0) \cdot (l_p')^2}{8S_{\min}} \leq 0,025l_p', \quad (5.20)$$

$$y_{\max} = \frac{(133 + 11,88) \cdot 1,33^2}{8 \cdot 49,21} = 0,03 \leq 0,025l_p' = 0,032 \text{ м}.$$

Прогин стрічки при мінімальному її натягу знаходиться в нормі.

Розрахуємо радіуси перегину стрічки на кривих:

$$R_1 \geq 12 B = 12 \cdot 0,8 = 2,6 \text{ м}. \quad (5.21)$$

Приймаємо  $R_1 = 10 \text{ м}$ .

Знаючи величину  $R_1$ , знайдемо довжину дуги:

$$L_3 = \frac{2\pi R_1 \cdot 4^\circ}{360^\circ} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 4^\circ}{360^\circ} = 0,7 \text{ м}. \quad (5.22)$$

Опір руху стрічки:

$$W_0 = S_5 - S_1 = 183,72 - 52,34 = 131,38 \text{ кгс.} = 1,31 \text{ кН}. \quad (5.23)$$

Розрахункова потужність двигуна приводу стрічкового живильника:

$$N_p = \frac{W_0 \cdot v}{4\eta_M} = \frac{131,38 \cdot 1,25}{4 \cdot 0,8} = 48,3 \text{ кВт}. \quad (5.24)$$

Установочна потужність двигуна:

$$N_0 = n_y N_p = 1,2 \cdot 2 = 58 \text{ кВт}, \quad (5.25)$$

де  $n_y$  – коефіцієнт встановленої потужності (запас потужності),

$$n_y = 1,1 \dots 1,2 \text{ беремо } n_y = 1,2. \quad (5.26)$$

По каталогу вибираємо двигун:

4А112МВ8У3 трифазний асинхронний короткозамкнений двигун серії 4А (ГОСТ 19 523-74) [10].

Потужність  $N = 65,84 \text{ кВт}$



## 5.2 Вибір електродвигуна стрічкового дозатора

Частота обертів тихохідного вала редуктора  $n=70$ .

Момент на тихохідному валу:

$$P_{\text{вих}} = T \omega$$

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3.14 \cdot 70}{30} = 7.32 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$T_{\text{вих}} = \frac{P_{\text{вих}}}{\omega} = \frac{2786}{7.32} = 380.6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо загальний ККД приводу живильника:

$$\eta_{\text{приводу}} = \eta_{\text{зуб}} \eta_{\text{муфти}} \eta_{\text{підш}} = 0.97 \cdot 0.98 \cdot 0.99 = 0.867 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де  $\eta_{\text{зуб}}$  – ККД зубчастої передачі;

$\eta_{\text{підш}}$  – ККД підшипників;

$\eta_{\text{муфти}}$  – ККД муфти.

$$\eta_{\text{зуб}} = 0.97; \eta_{\text{муфти}} = 0.98; \eta_{\text{підш}} = 0.99;$$

Потужність двигуна:

$$P_{\text{вих}} = \frac{P_{\text{вих}}}{\eta_{\text{прив}}} = \frac{2786}{0.867} = 3213 = 3.1 \text{ кВт}$$

Частота обертання валу електродвигуна:

$$n_{\text{вх}} = n_{\text{вих}} u$$

де  $u = u_{\text{швидк}} u_{\text{тих}}$ ;

Передаточні числа на тихохідному і швидкохідному валах:

$$u_{\text{тих}} = 3.55; u_{\text{швидк}} = 4$$

$$n_{\text{вх}} = n_{\text{вих}} u = 70 \cdot 3.55 \cdot 4 = 994 \text{ об./хв}$$

Виходячи з орієнтовних значень частот обертання та потужності, вибираємо електродвигун типу АИР132М6, з потужністю 4.5 кВт та синхронною частотою 1000 об/хв.

Дійсне фактичне передавальне число

$$U_{\text{д}} = \frac{n_{\text{вх}}}{n_{\text{вих}}} = \frac{1000}{70} = 14.28$$

Розбиваємо передавальне число по ступенях

$$U_{\text{д}} = U_{\text{ред}} = 14.28.$$

Отримуємо:

$$u_{\text{тих}} = 0.88\sqrt{u_d} = 0.88\sqrt{14.28} = 3.22$$

Приймаємо  $u_{\text{тих}} = 3.55$  тоді

$$u_{\text{швидк}} = \frac{u_{\text{ред}}}{u_{\text{тих}}} = \frac{14.28}{3.55} = 4.02$$

Приймаємо  $u_{\text{швидк}} = 4$

### 5.3 Кінематичні розрахунки редуктора стрічкового дозатора

Частота обертання на I валу:

$$n_1 = n_{\text{дв}} = 1000 \text{ об/хв};$$

Кутова швидкість на I валу:

$$\omega_{1\text{дв}} = \frac{\pi n}{30} = \frac{3.14 \cdot 1000}{30} = 104.6 \text{ рад/с}$$

Потужність на I валу:

$$P_1 = P_{\text{дв}} = 7.5 \text{ кВт}$$

Обертовий момент на I валу:

$$T_1 = T_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв}}} = \frac{7500}{75.36} = 99.52 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Частота обертання на II валу:

$$n_2 = n_1 = n_{\text{дс}} = 1000 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість на II валу:

$$\omega_{2\text{дв}} = 75.36 \text{ рад/с}$$

Потужність на II валу:

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_{\text{муфт}} \cdot \eta_{\text{підш}} = 7.5 \cdot 0.98 \cdot 0.99 = 7.28 \text{ кВт}$$

Обертовий момент на II валу:

$$T_2 = T_1 \cdot \eta_{\text{муфти}} \cdot \eta_{\text{муфти}} = 99.52 \cdot 0.98 \cdot 1 = 97.52 \text{ Нм}$$

Частота обертання на III валу:

$$n_3 = \frac{n_2}{n_{\text{швидк}}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість на III валу:

$$\omega_1 = \frac{\pi n_3}{30} = \frac{3.14 \cdot 281.7}{30} = 26.1 \text{ рад/с}$$

Потужність на III валу:

$$P_3 = P_2 \eta_{2\text{зуб}} \eta_{\text{підш}} = 7.28 \cdot 0.972 \cdot 0.99 = 7 \text{ кВт};$$

Обертовий момент на III валу:

$$T_3 = T_2 \eta_{\text{зуб}} u_{\text{швидк}} = 97.52 \cdot 0.97 \cdot 4 = 378.38 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Частота обертання на IV валу:

$$n_4 = \frac{n_3}{n_{\text{тих}}} = \frac{250}{3.55} = 71.8 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість на IV валу:

$$\omega_4 = \frac{\pi n_4}{30} = \frac{3.14 \cdot 67.6}{30} = 7.5 \text{ рад/с}$$

Потужність на IV валу:

$$P_4 = P_3 \eta_{\text{зуб}} \eta_{\text{підш}} = 7 \cdot 0.97 \cdot 0.99 = 6.72 \text{ кВт}$$

Обертовий момент на IV валу:

$$T_4 = T_3 \eta_{\text{зуб}} n_{\text{тих}} = 378.38 \cdot 0.97 \cdot 3.55 = 1303 \text{ Нм}$$

## 5.4 Розрахунки на міцність стрічкового дозатора

Розрахунок сил опору руху полотна виконано з використанням джерела [4].

Важливі для розрахунку точки зображені на рисунку 6.1.

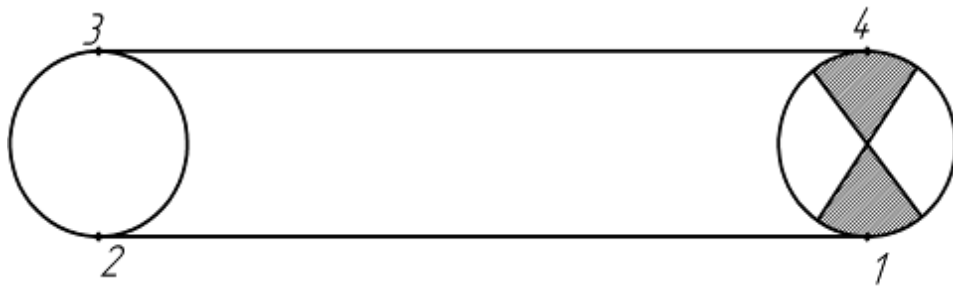


Рисунок 5.1. – Схема траси живильника зі важливими для розрахунку точками

Зусилля натягу в стрічці і сили опору на ділянках стрічкового живильника визначають методом обходу по точках:

Зусилля натягу в початковій точці 1

$$S_1 = S_{сб} = 2000 \div 3000 \text{ Н}$$

Зусилля натягу в точці 2 з урахуванням сили опору на ділянці 1-2

$$S_2 = S_1 + W_{1-2}$$

$$W_{1-2} = W_x = 10 q_0 \cos(22^\circ) L w = 10 \cdot 118 \cos(22^\circ) \cdot 75 \cdot 0.1 = 8850 \text{ Н},$$

де  $w$  – коефіцієнт опору руху  $w = 0.1$ ;

$q_0$  – погонна маса настилу живильника –  $q_0 = 60B + k_n = 118 \text{ кг/м}$ ;

$k_n$  – коефіцієнт який залежить від типу настилу, для середнього при  $B = 0.8$  –  $k_n = 70$ ;

$$S_2 = S_1 + W_{1-2} = 2500 + 8850 = 11350 \text{ Н}.$$

Зусилля натягу в точці 3 з урахуванням сили опору натяжного барабану

$$S_3 = S_2 + W_{нз} = 11350 + 0.1 \cdot 11350 = 12485 \text{ Н}.$$

Сила опору на натяжному барабані

$$W_{нз} = 0.1 S_2.$$

Зусилля натягу в набігаючої гілки в точці 4 з урахуванням сили опору від сил тертя нормальної складової сили ваги вантажу і сили тяжіння настилу, а також похилої складової сили від ваги вантажу

$$S_4 = S_3 + W_{3-4} = 12485 + 17850 = 30335 \text{ Н}.$$

Сила опору навантаженої гілки на ділянці 3-4

$$\begin{aligned} W_{3-4} &= 10 (q + q_0) \cos(B) L w \sin(B) L = \\ &= (10 * ((128 + 118) * \cos 0 * 75 * 0.1 + 128 * \sin 0 * 75)) = 17850 \text{ Н} \end{aligned}$$

Розподілена сила від ваги вантажу

$$q = \frac{P_v}{3.6v} = \frac{115.2}{3.6 \cdot 0.25} = 128 \text{ Н/м}.$$

Тягове зусилля на приводному барабані

$$P = S_4 - S_1 + W_{пз} = 30335 - 2500 + 3367.2 = 31202.2 \text{ Н}$$

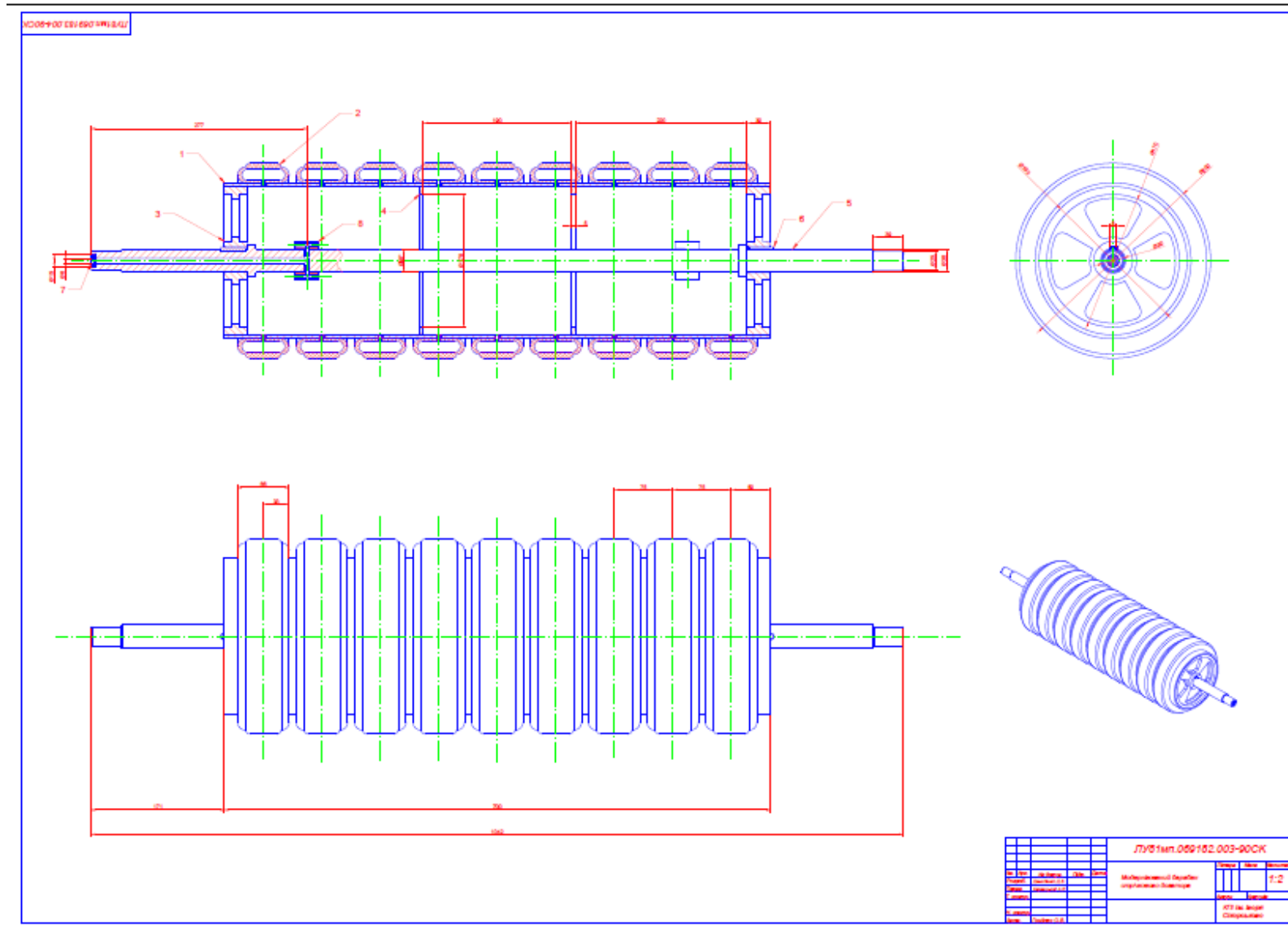
$W_{пз}$  – сила опору на приводному барабані

$$W_{пз} = 0.05(S_4 + S_1) = 0.05(30335 + 2500) = 3367.2 \text{ Н}$$

Частота обертів приводного барабана

$$n_{зв} = 60v / \pi d = 6.25 \text{ об/хв}.$$

## 6.1 Складання вузла



[illegible]



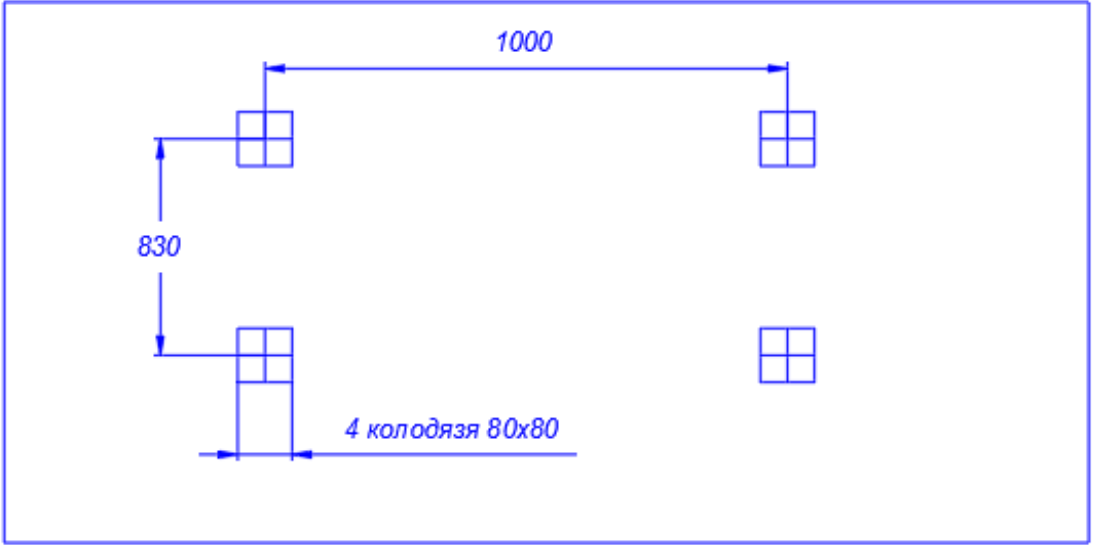
				Операційна карта слюсарних, слюсарно-складальних та електромонтажних робіт													
№ цеху	№ участ.	№ міся	№ опер.	Найменування операції							Устаткування						
				Збирання редуктора													
№ пере- ходу	Зміст переходу								Технологічний режим		Пристосування		Інструмент		То хв		
1	На вал 5 запресовуємо шпонки 6								Вал 5				молоток				
									Шпонка 6				підставка		8		
2	В торці валу 5 запресовуємо підшипники 7								Вал 5				молоток.		5		
									Підшипники 7				підставка				
3	На вал 5 накручуємо клапанний блок 8								Вал 5				S-8		3		
									Клапанний блок 8								
4	На барабан 1 приварюємо кільця жорсткості 4								Барабан 1		Електро-дугове		щипці		15		
											зварювання						
5	На барабан 1 надягаються шини 2								Барабан 1						10		
									Шини 2								
6	На вал 5 надягаємо колеса 3								Вал 5								
									Колеса 3						8		
7	З'єднуємо шлангами фітинги на шинах та валу														6		
8	Вал 5 в збірці зварюємо з барабаном 1								Барабан 1		Електро-дугове						
									Вал 5		зварювання				12		
											Розроб.	Демиденко				Арк.	
											Перевірив	Борщик					
											Керівник	Карвацький				Ар-в	
		Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Затв.	Гондляр				



6.2 Монтаж на фундаменті

Інв. № дубл	Підпис і дата	Втч. Інв. №	Інв № дубл	Підпис і дата		
		Карта ескізів				
		Номер операції				

План розміщення фундаментних колодязів



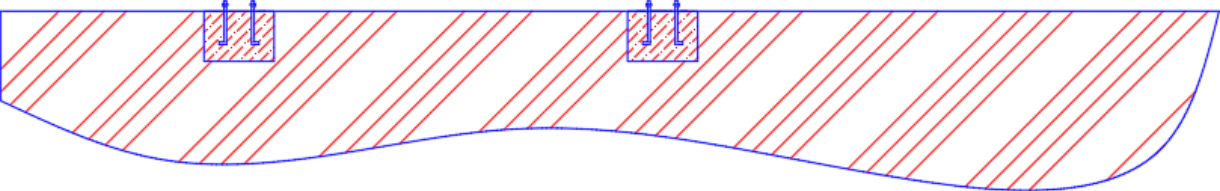
											Розробив	Демиденко			Лист
											Перевірів	Борщик			
											Керівник	Карвацький			Лист
КЕ	Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Зм	Арк	№ документа	Підпис	Дата	Н.Контр				

Інв. № дудл	Підпис і дата	Втч. Інв. №	Інв № дудл	Підпис і дата		

Карта ескізів

Номер операції

1



											Розробив	Демиденко			Лист
											Перевірів	Борщик			
											Керівник	Карвацький			Лист
КЕ	Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Зм	Арк	№ документа	Підпис	Дата	Н.Контр				

Інв. № дудл	Підпис і дата	Втч. Інв. №	Інв № дудл	Підпис і дата		

Карта ескізів

Номер операції

2

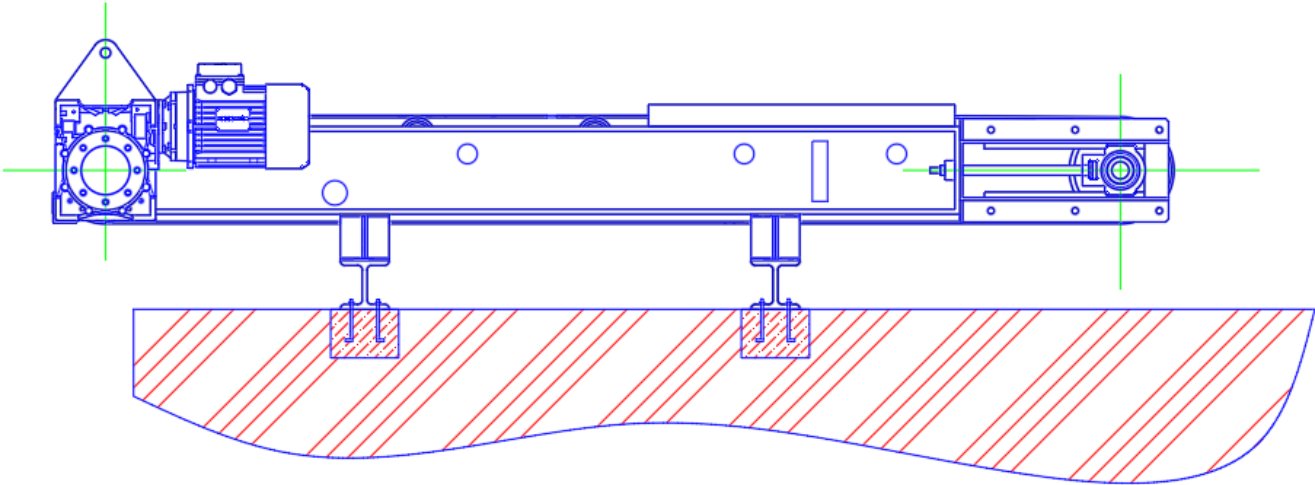
											Розробив	Демиденко			Лист
											Перевірів	Борщик			
											Керівник	Карвацький			Лист
КЕ	Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Зм	Арк	№ документа	Підпис	Дата	Н.Контр				

Інв. № дудл	Підпис і дата	Втч. Інв. №	Інв № дудл	Підпис і дата		

Карта ескізів

Номер операції

3



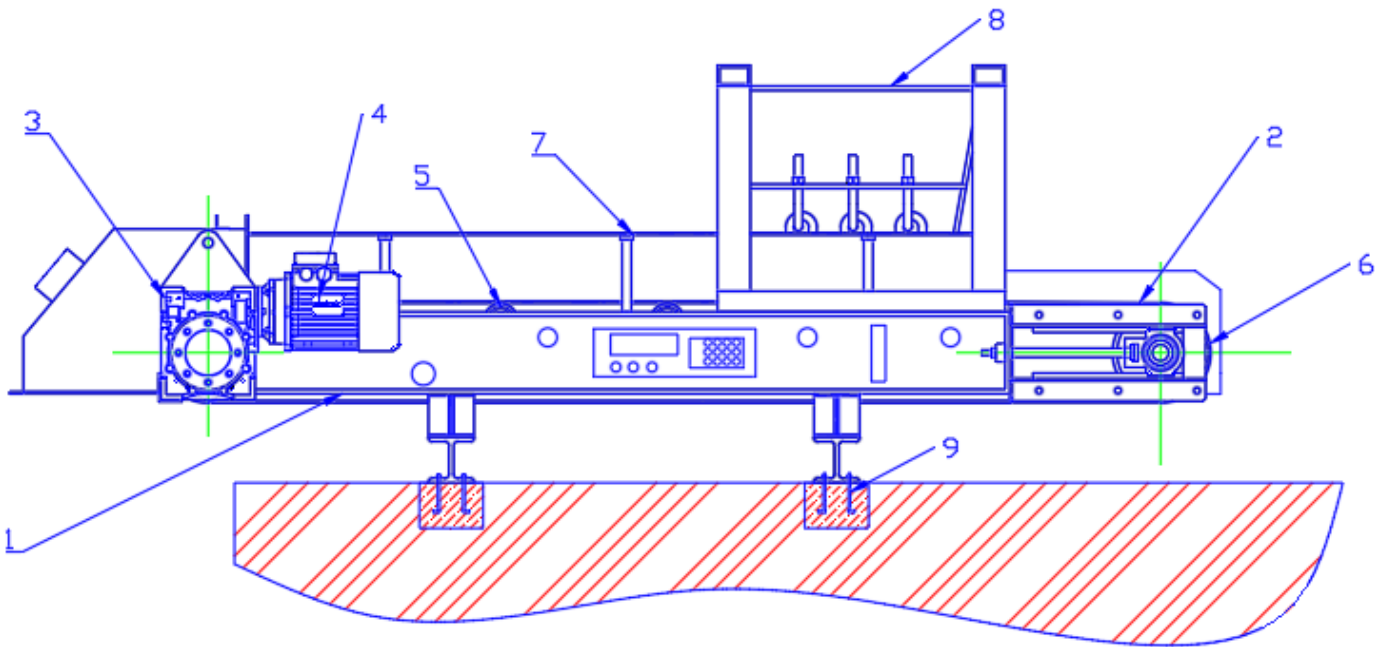
											Розробив	Демиденко			Лист
											Перевірів	Борщик			
											Керівник	Карвацький			Лист
KE	Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Зм	Арк	№ документа	Підпис	Дата	Н.Контр				

Інв. № дудл	Підпис і дата	Втч. Інв. №	Інв № дудл	Підпис і дата		

Карта ескізів

Номер операції

4

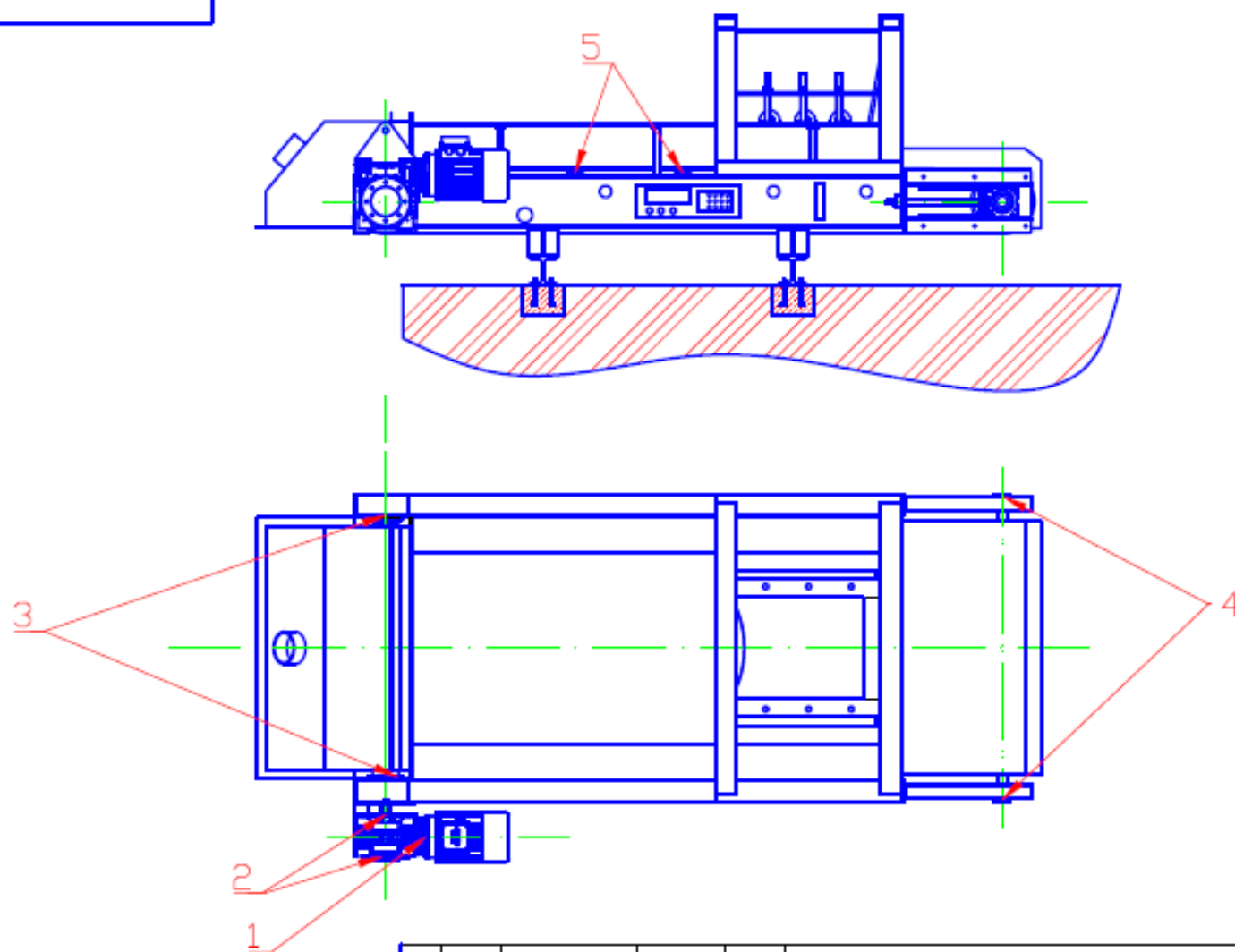


											Розробив	Демиденко			Лист
											Перевірів	Борщик			
											Керівник	Карвацький			Лист
КЕ	Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Зм	Ар к	№ документа	Підпис	Дата	Н.Контр				

				Операційна карта Слюсарних, слюсарно-складальних та електромонтажних робіт												
№	№	учас	№	місц	№	опер	Найменування операції					Устаткування				
					Збирання конвеєра											
№ пере ходу	Зміст переходу								Технологічний режим		Пристосування		Інструмент		То, хв	
1	Встановити по розмітці фундаментні болти 9, та залити фундаментні колодязі												Ключ S32		180	
2	Застропити, підняти та встановити станину 1 дозатора.										Кран 2т.		Ключ S32		240	
	Наживити на фундаментні болти гайки, та зачекати затвердіння бетону. Затягнути гайки. Приварити електродуговою сваркою місця стику профілів станини.												Ключ S24			
3	Підняти та встановити вузол 3 приводного барабану, та вузол 2 натяжного барабану на станину 1.												Ключ S32		200	
	Прикріпити гвинтами утримуючі ролики 5. Натягнути тягову стрічку регулюючими гвинтами. Застропити, підняти та встановити привід 4 конвеєра.												Ключ S24			
4	Підняти та встановити бункер дозатора 8.												Ключ S22		140	
	Закріпити борти стрічки 7 та вивідний бункер															
											Розробив.	Демиденко			Арк.	
											Перевірів	Борщик				
											Керівник	Карвацький			Ар-в	
МК	Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Затв.					

### 6.3 Експлуатація машини

Інв. N подл.	Погп. и дата	Взам. инв. N	Инв. N дубл.	Погп. и дата



Изм.	Лист	N докум.	Погп.	Дата

**Схема змащення**

Лист

## Карта змащування

<b>№ позиц ії</b>	<b>Найменування і позначення змащуємого вузла</b>	<b>Найменування змащувального матеріалу</b>	<b>Кількість точок змащу- вання</b>	<b>Спосіб нанесення мастила</b>	<b>Періодичність</b>	<b>Примітка</b>
1	Підшипники електродвигун а	ЦИАТИМ 221 ГОСТ 9633-80	2	Підшипники змащуються шляхом набивки мастила в порожнину через спеціальні мастилки	Згідно технічних вимог виробника	
2	Змащення підшипників і редуктора	Індустріальне мастило 20 ГОСТ 6267-74	6	До місць змащуванн я мастило попадає за допомогою спеціальни х маслянок	Проводити заміну мастила 1 раз на 2 місяці	Станції рідкого змащування обладнанні реле тиску , поплавкови ми реле. Поплавкове реле контролює рівень масла на зливі від підшипників і рівень масла в відстіїниках реле тиску контролює тиск в трубопрово дах
3	Змащення підшипників опорних цапф привідного барабана	ЦИАТИМ 221 ГОСТ 9633-80	2	Підшипники змащуютьс я шляхом набивки мастила в порожнину через спеціальні мастилки	Поповнення мастилок проводити 1 раз в 8 днів	



4	<i>Змащення підшипників опорних цапф натяжного барабана</i>	<i>УС-З(Т) ГОСТ 1033-81</i>	2	<i>Шарніри муфти змащуютьс я шляхом набивки масла через спеціальні мастилки</i>	<i>Поповнення мастилок проводити 1 раз в місяць</i>	
5	<i>Змащення роликів опору стрічки</i>	<i>ЦИАТИМ 221 ГОСТ 9633-80</i>	14	<i>Підшипники змащуютьс я шляхом набивки мастила в порожнину через спеціальні мастилки</i>	<i>Поповнення мастилок проводити 1 раз в 8 днів</i>	

## **7 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПАКУВАННЯ ВУГІЛЛЯ У М'ЯКІ КОНТЕЙНЕРИ**

### **7.1 Опис роботи лінії фасування вугілля у м'які контейнери**

Перелік операцій, що лінією фасування вугілля:

- 1 – подача дози вугілля на транспортер;
- 2 – подача дози вугілля у мішок ;
- 3 – позиціонування мішка;
- 4 – відкриття ссипаючого бункера ;
- 5 – зажим мішка для пробивання отворів;
- 6 – пробивання отворів під нитку;
- 7 – зшив мішка;
- 8 – відрізання зав'язуючої нитки.

Робочий цикл, що виконує розливний автомат:

$1 - \bar{1} - 2 - \bar{2} - 3 - 4 - \bar{3} - \bar{4} - 5 - 6 - \bar{6} - \bar{5} - 7 - \bar{7} - 8 - \bar{8}$

### **7.2 Розгляд функціональних модулів**

#### **Функціональний модуль 1 (ФМ1)**

Призначений для подачі вугілля на транспортер.

В якості виконавчого пристрою виступає пневмоциліндр двосторонньої дії, поршневий, одноштоковий [18].

Технічні характеристики приводу:

Максимальний робочий тиск – 12 бар (1,2 МПа)

Швидкість ходу поршня – 10 - 1000 мм/с,

Робоча температура – 5°C - +70°C. 33

Діаметр поршня – 40 мм.

Хід – 100 мм.

Марка деталі: “Pneumax” 1305.40.50.01 (ISO)

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 1.0

В якості керуючого пристрою використовуємо моностабільний 5-лінійний розподільник з пружиним поверненням, 2-х позиційний Festo VMEMS-M52-M [19].

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 1.1

В якості датчиків положення штока циліндра використовуємо безконтактні ємнісні датчики «ТК ЕНЕРГО» ВБЕ.

Кількість – 2 шт.

Позначення на схемі – 1.2 та 1.3

## **Функціональний модуль 2 (ФМ2)**

Призначений для подачі дози вугілля у мішок.

В якості виконавчого пристрою виступає пневмоциліндр двосторонньої дії, поршневий, одноштоковий.

Технічні характеристики приводу:

Максимальний робочий тиск – 12 бар (1,2 МПа)

Швидкість ходу поршня – 10 - 1000 мм/с,

Робоча температура – 5°C - +70°C.

Діаметр поршня – 40 мм.

Хід – 100 мм.

Марка деталі: “Pneumax” 1305.40.50.01 (ISO)

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 2.0

В якості керуючого пристрою використовуємо моностабільний 5-лінійний розподільник з пружиним поверненням, 2-х позиційний Festo VMEMS-M52-M. Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 2.1

В якості датчиків положення штока циліндра використовуємо безконтактні ємнісні датчики «ТК ЕНЕРГО» ВБЕ.

Кількість – 2 шт.

Позначення на схемі – 2.2 та 2.3

### **Функціональний модуль 3 (ФМ3)**

Призначений для позиціювання мішка.

В якості виконавчого пристрою виступає пневмоциліндр двосторонньої дії, поршневий, одноштоковий.

Технічні характеристики приводу:

Максимальний робочий тиск – 12 бар (1,2 МПа)

Швидкість ходу поршня – 10 - 1000 мм/с,

Робоча температура – 5°C - +70°C.

Діаметр поршня – 40 мм.

Хід – 100 мм.

Марка деталі: “Pneumax” 1305.40.50.01 (ISO)

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 3.0

В якості керуючого пристрою використовуємо моностабільний 5-лінійний розподільник з пружинним поверненням, 2-х позиційний Festo VMEMS-M52-M. Кількість – 1 шт. 35

Позначення на схемі – 3.1

В якості датчиків положення штока циліндра використовуємо безконтактні ємнісні датчики «ТК ЕНЕРГО» ВБЕ.

Кількість – 2 шт.

Позначення на схемі – 3.2 та 3.3

### **Функціональний модуль 4 (ФМ4)**

Призначений для відкриття ссипаючого бункера.

В якості виконавчого пристрою виступає пневмоциліндр двосторонньої дії, поршневий, одноштоковий.

Технічні характеристики приводу:

Максимальний робочий тиск – 12 бар (1,2 МПа)

Швидкість ходу поршня – 10 - 1000 мм/с,

Робоча температура – 5°C - +70°C.

Діаметр поршня – 40 мм.

Хід – 100 мм. Марка деталі: “Pneumax” 1305.40.50.01 (ISO)

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 4.0

В якості керуючого пристрою використовуємо – бістабільний 5-лінійний розподільник з двостороннім електромагнітним керуванням, 2-х позиційний Festo VHEM-PA-B52.

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 4.1

В якості датчиків положення штока циліндра використовуємо безконтактні ємнісні датчики «ТК ЕНЕРГО» ВБЕ.

Кількість – 2 шт.

Позначення на схемі – 4.2 та 4.3

### **Функціональний модуль 5 (ФМ5)**

Призначений для зажиму мішка для пробивання зшиваючи отворів.

В якості виконавчого пристрою виступає пневмоциліндр двосторонньої дії, поршневий, одноштоковий.

Технічні характеристики приводу:

Максимальний робочий тиск – 12 бар (1,2 МПа)

Швидкість ходу поршня – 10 - 1000 мм/с,

Робоча температура – 5°C - +70°C.

Діаметр поршня – 40 мм.

Хід – 100 мм.

Марка деталі: “Pneumax” 1305.40.50.01 (ISO)

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 5.0

В якості керуючого пристрою використовуємо – бістабільний 5-лінійний розподільник з двостороннім електромагнітним керуванням, 2-х позиційний Festo VHEM-PA-B52.

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 5.1

В якості датчиків положення штока циліндра використовуємо:

1) контактний датчик Festo S-3-BE, кількість – 1 шт., позначення на схемі – 5.2;

2) датчик тиску Festo SKDA-1.5-AB, кількість – 1 шт., позначення на схемі – 5.3.

### **Функціональний модуль 6 (ФМ6)**

Призначений для пробивання отворів під нитку.

В якості виконавчого пристрою виступає пневмоциліндр двосторонньої дії, поршневий, одноштоковий.

Технічні характеристики приводу:

Максимальний робочий тиск – 12 бар (1,2 МПа)

Швидкість ходу поршня – 10 - 1000 мм/с,

Робоча температура – 5°C - +70°C.

Діаметр поршня – 40 мм.

Хід – 100 мм.

Марка деталі: “Pneumax” 1305.40.50.01 (ISO)

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 6.0

В якості керуючого пристрою використовуємо моностабільний 5-лінійний розподільник з пружинним поверненням, 2-х позиційний Festo VMEMS-M52-M.

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 6.1

В якості датчиків положення штока циліндра використовуємо:

- 1) контактний датчик Festo S-3-BE, кількість – 1 шт., позначення на схемі – 6.2;
- 2) датчик тиску Festo SKDA-1.5-AB, кількість – 1 шт., позначення на схемі – 6.3.

### **Функціональний модуль 7 (ФМ7)**

Призначений для зшиву мішка.

В якості виконавчого пристрою виступає пневмоциліндр двосторонньої дії, поршневий, одноштоковий.

Технічні характеристики приводу:

Максимальний робочий тиск – 12 бар (1,2 МПа)

Швидкість ходу поршня – 10 - 1000 мм/с,

Робоча температура – 5°C - +70°C.

Діаметр поршня – 40 мм.

Хід – 100 мм.

Марка деталі: “Pneumax” 1305.40.50.01 (ISO)

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 7.0

В якості керуючого пристрою використовуємо – бістабільний 5-лінійний розподільник з двостороннім електромагнітним керуванням, 2-х позиційний Festo VHEM-PA-B52.

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 7.1

В якості датчиків положення штока циліндра використовуємо:

- 1) контактний датчик Festo S-3-BE, кількість – 1 шт., позначення на схемі – 7.2;
- 2) датчик тиску Festo SKDA-1.5-AB, кількість – 1 шт., позначення на схемі – 7.3.

## **Функціональний модуль 8 (ФМ8)**

Призначений для відрізання зав'язуючої нитки.

В якості виконавчого пристрою виступає пневмоциліндр двосторонньої дії, поршневий, одноштоковий.

Технічні характеристики приводу:

Максимальний робочий тиск – 12 бар (1,2 МПа)

Швидкість ходу поршня – 10 - 1000 мм/с,

Робоча температура – 5°C - +70°C.

Діаметр поршня – 40 мм.

Хід – 100 мм.

Марка деталі: “Pneumax” 1305.40.50.01 (ISO)

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 8.0

В якості керуючого пристрою використовуємо – бістабільний 5-лінійний розподільник з двостороннім електромагнітним керуванням, 2-х позиційний Festo VHEM-PA-B52.

Кількість – 1 шт.

Позначення на схемі – 8.1

В якості датчиків положення штока циліндра використовуємо:

1) контактний датчик Festo S-3-BE, кількість – 1 шт., позначення на схемі – 8.2;

2) датчик тиску Festo SKDA-1.5-AB, кількість – 1 шт., позначення на схемі – 8.3. [22]

## **7.3 Виконання розробки логіки**

Для знаходження логіки використовуємо метод функціонального графу.



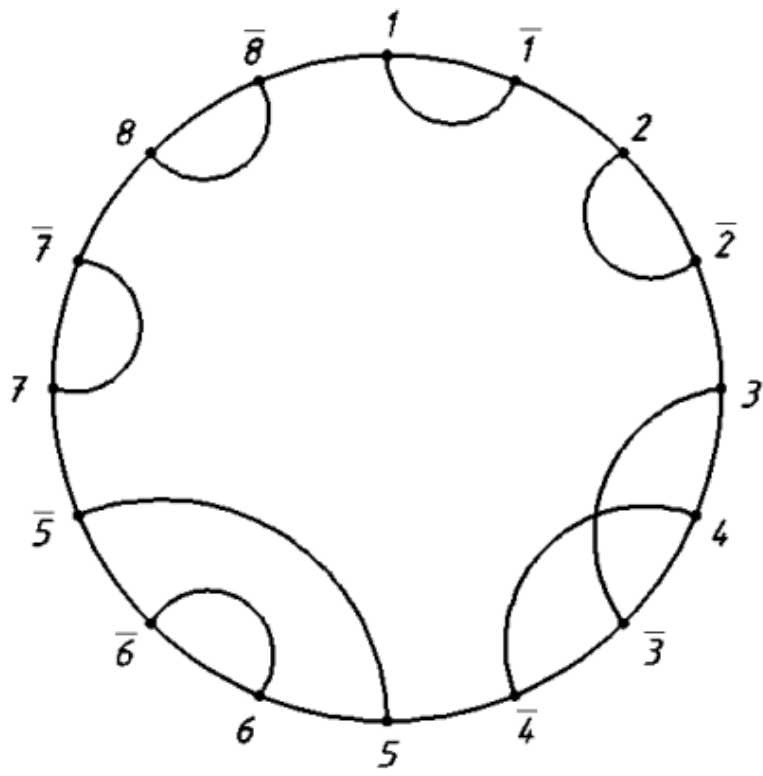


Рис.7.1 Функціональний граф по циклу

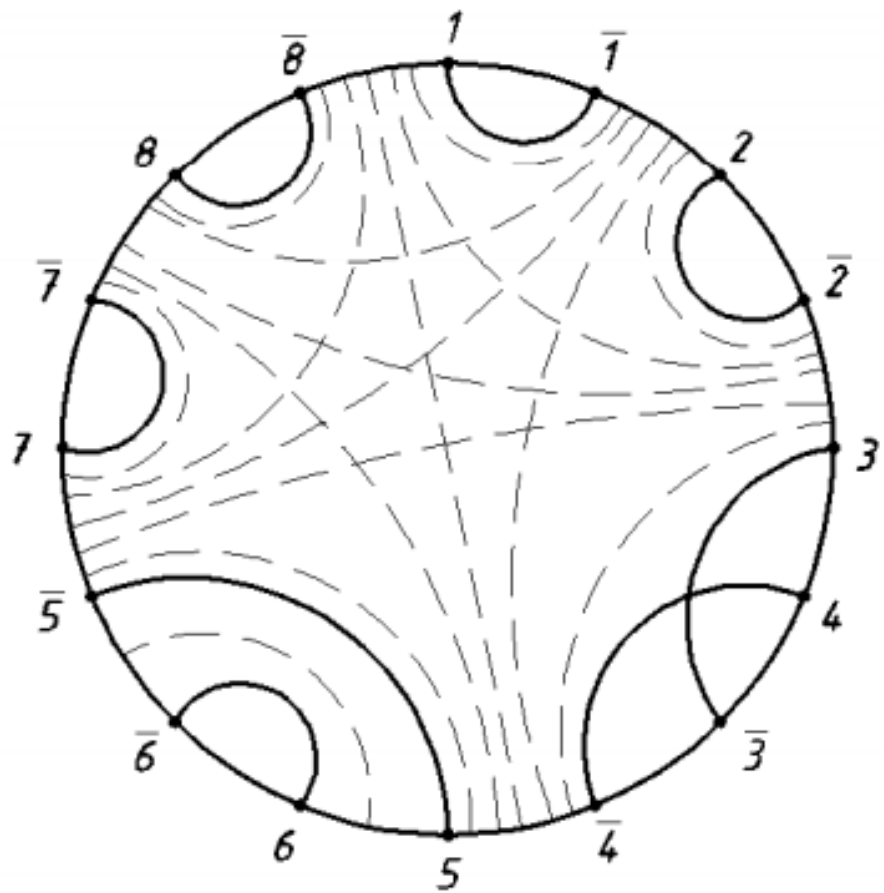


Рис.7.2 Функціональний граф по циклу з лініями невизначеності системи

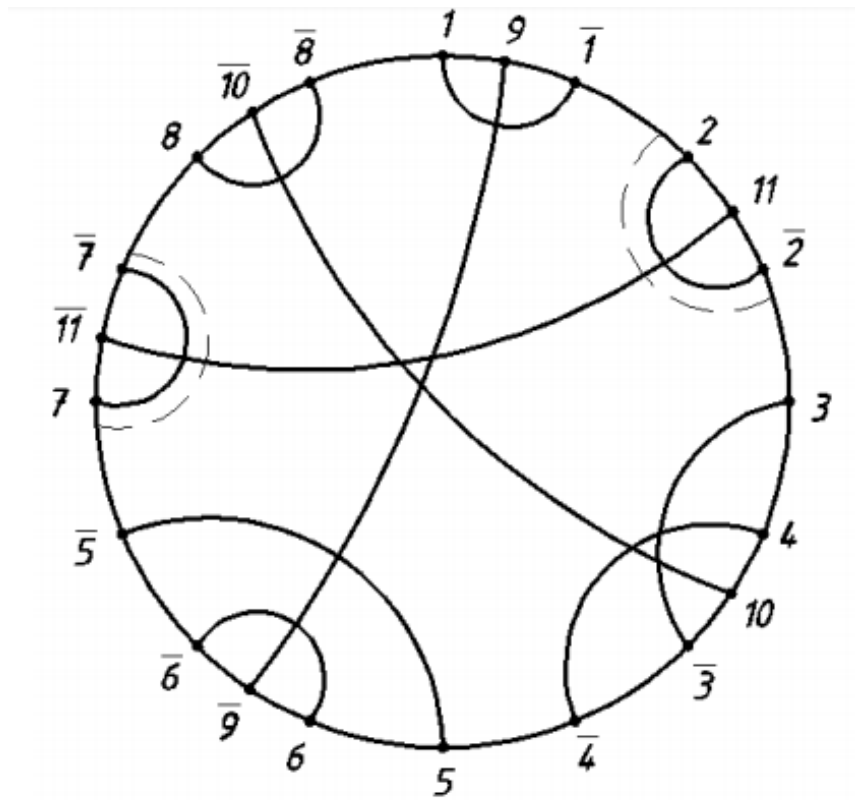


Рис.7.3 Функціональний граф по циклу з додаванням елементів пам'яті 9,10,11

#### 7.4 Керуючі команди

Бістабільні:

$$Y_1 \leq X_{\bar{8}} \cdot X_{\bar{10}} \cdot X_{\bar{9}}$$

$$Y_2 \leq X_{\bar{1}} \cdot X_9 \cdot X_{\bar{11}}$$

$$Y_3 \leq X_{\bar{2}} \cdot X_{11} \cdot X_{\bar{10}}$$

$$Y_4 \leq X_3$$

$$Y_5 \leq X_{\bar{4}} \cdot X_{10} \cdot X_9$$

$$Y_6 \leq X_5 \cdot X_9$$

$$Y_7 \leq X_{\bar{5}} \cdot X_{\bar{9}} \cdot X_{11}$$

$$Y_8 \leq X_{\bar{7}} \cdot X_{\bar{11}} \cdot X_{10}$$

$$Y_9 \leq X_1$$

$$Y_{10} \leq X_4$$

$$Y_{11} \leq X_2$$

$$Y_{\bar{1}} \leq X_9$$

$$Y_{\bar{2}} \leq X_{11}$$

$$Y_{\bar{3}} \leq X_{10}$$

$$Y_{\bar{4}} \leq X_{\bar{3}}$$

$$Y_{\bar{5}} \leq X_{\bar{6}} \cdot X_{\bar{9}}$$

$$Y_{\bar{6}} \leq X_{\bar{9}}$$

$$Y_{\bar{7}} \leq X_{\bar{11}}$$

$$Y_{\bar{8}} \leq X_{\bar{10}}$$

$$Y_{\bar{9}} \leq X_6$$

$$Y_{\bar{10}} \leq X_8$$

$$Y_{\bar{11}} \leq X_7$$

Моностабільні:

$$Y_1 \leq X_8 \cdot X_{10} \cdot X_9$$

$$Y_2 \leq X_1 \cdot X_9 \cdot X_{11}$$

$$Y_3 \leq X_2 \cdot X_{11} \cdot X_{10}$$

$$Y_4 \leq \bar{X}_3$$

$$Y_5 \leq X_4 \cdot X_{10} \cdot X_9 + \bar{X}_6$$

$$Y_6 \leq X_5 \cdot X_9$$

$$Y_7 \leq X_5 \cdot X_9 \cdot X_{11}$$

$$Y_8 \leq X_7 \cdot X_{11} \cdot X_{10}$$

$$Y_9 \leq X_1 + X_9 \cdot \bar{X}_6$$

$$Y_{10} \leq X_4 + X_{10} \cdot \bar{X}_8$$

$$Y_{11} \leq X_2 + X_{11} \cdot \bar{X}_7$$

Команди написані для даного завдання (1,2,3,6 – моностабільні; 4,5,7,8 – бістабільні; 9,10,11 – елементи пам'яті):

$$Y_1 \leq X_8 \cdot X_{10} \cdot X_9$$

$$Y_2 \leq X_1 \cdot X_9 \cdot X_{11}$$

$$Y_3 \leq X_2 \cdot X_{11} \cdot X_{10}$$

$$Y_4 \leq X_3$$

$$Y_5 \leq X_4 \cdot X_{10} \cdot X_9$$

$$Y_6 \leq X_5 \cdot X_9$$

$$Y_7 \leq X_5 \cdot X_9 \cdot X_{11}$$

$$Y_8 \leq X_7 \cdot X_{11} \cdot X_{10}$$

$$Y_9 \leq X_1$$

$$Y_{10} \leq X_4$$

$$Y_{11} \leq X_2$$

$$Y_4 \leq X_3$$

$$Y_5 \leq X_6 \cdot X_9$$

$$Y_7 \leq X_{11}$$

$$Y_8 \leq X_{10}$$

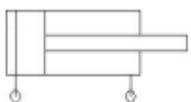
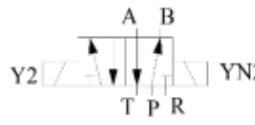
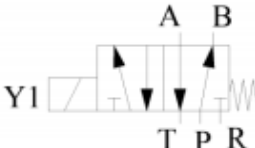
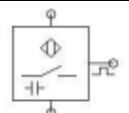
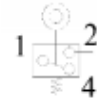
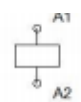


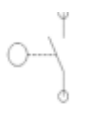
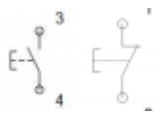

$$Y_9 \leq X_6$$

$$Y_{10} \leq X_8$$

$$Y_{11} \leq X_7$$

Умовні позначення використаного обладнання

Таблиця 5.1

№	Назва	Схема позначення	Фірма виробник	Маркування	Кількість
1	Пневмоциліндр одноштоковий двосторонньої дії		“Pneumax”	1305.40.50.0 1 (ISO)	8
2	Розподільник 5-лінійний, 2-позиційний, бістабільний, з двостороннім електромагнітним керуванням		“Festo”	VHEM-PAB52	4
3	Розподільник 5-лінійний, 2-позиційний, моностабільний, з одностороннім електромагнітним керуванням і пружинним поверненням		“Festo”	VHEM-SM52-M	4
4	Ємнісний безконтактний датчик		"ТК ЭНЕРГО"	ВБЕ	8
5	Контактний датчик		“Festo”	S-3-BE	8
6	Реле		“Festo”	VPEV	18
7	НО ключ		“Festo”	P-22-SW	20
8	NC ключ		“Festo”	P-30-SW	12
9	Кнопка з перемикачем		“Festo”	T-22	8
10	Не фіксована кнопка		Wenzhou Xider Electric Co.	XB2-BS542	2
11	Кнопка аварійної зупинки		Triconex	3900A	1

Умовні позначення використаних датчиків Таблиця 7.2

Тип датчика	Сигнал	Кількість сигналів	Кількість релле
Безконтактний	Xn1	1	1
Безконтактний	X1	1	1
Безконтактний	Xn2	1	1
Безконтактний	X2	1	1
Безконтактний	Xn3	1	1
Безконтактний	X3	1	1
Безконтактний	Xn4	1	1
Безконтактний	X4	1	1
Контактний	Xn5	1	0
Контактний	X5	1	0
Контактний	Xn6	1	0
Контактний	X6	1	0
Контактний	Xn7	1	0
Контактний	X7	1	0
Контактний	Xn8	1	0
Контактний	X8	1	0
Елемент пам'яті	Xn9	3	3
Елемент пам'яті	X9	3	3
Елемент пам'яті	Xn10	3	3
Елемент пам'яті	X10	2	3
Елемент пам'яті	Xn11	3	3
Елемент пам'яті	X11	2	3

## 8 СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 8.1 Опис ідеї стартап проекту

Стартап проект має мету створення новітнього підприємства для створення автоматизованих ліній та іншого спектру інженерних послуг для малого, середнього та великого бізнесу. Опис ідеї стартап проекту наведено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 Опис ідеї стартап проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея проекту полягає в створенні сучасного підприємства в сфері автоматизації виробництв	Інженерні послуги. Розробка та модернізація обладнання в різних галузях виробництва	Клієнт отримує розробку нового, або модернізацію вже готового обладнання під специфіку конкретно його підприємства
	Виробництво спроектованих машин та підтримка їх працездатності впродовж всього життєвого циклу машини	Клієнт спокійний що у випадку виходу обладнання з роботи він може отримати якісну підтримку від тих хто розробляв обладнання і знає його краще сторонніх фірм які займаються виготовленням. Власне підприємство дає зрозуміти, що розроблені машини будуть виготовленні якісно оскільки конструктор може безпосередньо слідкувати за збиранням обладнання
	Розробка програмного забезпечення для автоматичних систем виробництва	Власне програмне забезпечення гарантує кращу роботу, оскільки враховує можливості і особливості кожної машини виготовленої на цьому самому підприємстві

За такого підходу користувач отримує повний спектр послуг і фірма не втрачає клієнта, оскільки працює з ним доти доки він має обладнання цієї фірми [24].

Також було проведено аналіз техніко-економічних переваг у порівнянні з іншими конкурентами у даній галузі

- визначено перелік техніко-економічних характеристик та властивостей власної ідеї ;

- визначено попередній перелік конкурентів, що вже існують на ринку, та знайдено інформацію щодо значень техніко-економічних показників для ідеї свого проекту та реалізованих проектів-конкурентів;

- проведено порівняльний аналіз показників, що мають а) гірші значення (W); б) аналогічні (N) значення; в) кращі значення (S).

Таблиця 8.2 Порівняльний аналіз показників ідеї проекту

№ п/п	Характеристики ідеї	Послуги конкурентів				W (слаб ка сторо на)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Капелоу	Аском	Котріс			
1	Інженерні послуги. Розробка та модернізація обладнання в різних галузях виробництва	має	має	має	має	-	+	-
2	Виробництво спроектованих машин	має	має	немає	немає	-	-	+
3	Розробка програмного забезпечення	має	немає	немає	немає	-	-	+
4	База постійних клієнтів	немає	має	має	має	+	-	-
5	Підтримка впродовж всього життєвого циклу машини	має	має	немає	немає	-	+	-

Згідно з порівняльного аналізу можна зробити висновки що стартап є конкуренто спроможним на ринку [24].

## 8.2 Технологічний аудит ідеї стартап проекту

У розділі розробка стартап проекту було проведено технологічний аудит способу за допомогою якого можливо реалізувати проект (таблиця 8.3)

Таблиця 8.3 Технологічна здійсненність стартап проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології та реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Ідея проекту полягає в створенні сучасного підприємства в сфері автоматизації виробництв	Набір інтелектуальних ресурсів для підприємства. Оренда промислової площі з офісом у цій же будівлі або недалеко. Закупівля потрібного обладнання для виготовлення спроектованих машин та пошук партнерів для виконання певних заказних деталей за межами підприємства	Дані технології вже існують на ринку ,тому потрібні тільки кваліфіковані кадри з інженерною освітою, які мають досвід роботи у галузі, або гарно уявляють принцип автоматизації підприємств	Технології доступні і широко використовуються в західних країнах
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: нові лінії і способи автоматизації підприємств				

З результатів технологічної здійсненності ідеї стартап-проекту видно, що методи реалізації є можливими і при належному фінансуванні запустити проект можливо у короткий термін [24].



### 8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Основними гравцями на ринку є західні компанії які працюють загалом в більшості на великий бізнес, в той час як малий і середній ринок поки не має сильних гравців.

Таблиця 8.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартаппроекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість гравців на ринку,од	3
2	Загальний обсяг продаж,\$	3500000
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Масштабність
5	Вимоги до стандартизації та сертифікації	ISO, ДСТУ, ГОСТ
6	Середня норма рентабельності в галузі ,%	80

За попереднім оцінюванням наведеному у таблиці можна зробити висновки що ринок є привабливим для входу [24].

### 8.4 Розроблення ринкової стратегії стартап проекту

Розроблення ринкової стратегії, передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних клієнтів (таблиця 8.5). Вибір цільових груп передбачає розглядання, як малого і середнього, так і розглядання великого бізнесу не дивлячись на конкуренцію з більш досвідченими гравцями.

Таблиця 8.5 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в цьому сегменті	Простота входу в сегмент
1	Малий бізнес	Висока	Високий	Мала	Висока
2	Середній бізнес	Висока	Середній	Мала	Висока
3	Великий бізнес	Середня	Середній	Висока	Середня

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 8.6)

Таблиця 8.6 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Стратегія спеціалізації	Концентрація на потребах багатьох цільового сегменту	Виготовлення унікального обладнання під конкретні підприємства	Наступник

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 8.7)

Таблиця 8.7 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект новим на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Компанія буде більше орієнтована на малий і середній бізнес де майже немає конкурентів	Ні. Компанія буде розробляти і випускати унікальне обладнання по вимогам замовника	Стратегія виклику лідера

Відповідно до проведеного аналізу перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції, конкурентоспроможність проекту поява даного проекту є актуальна так як на ринку мала кількість компаній яка надає такий спектр послуг. І має перспективи росту на ринку послуг який відновлюється [24].

## 9 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці включає в себе наступні питання: безпека праці, усунення причин травматизму і попередження захворювань, аварійних ситуацій на виробництві, питання правової охорони праці.

Відповідно до теми дипломного проекту «Лінія фасування деревного вугілля у м'які контейнери» при роботі лінії фасування деревного вугілля у м'які контейнери розробляються заходи щодо забезпечення безпечних умов праці.

Під час роботи машини оператор перебуває у приміщенні, яке встановлено у виробничому цеху, площа та об'єм якого  $S = 110 \text{ м}^2$ ,  $V = 660 \text{ м}^3$ , було виявлено, що шкідливими та небезпечними факторами є:

- виробничий шум
- повітря робочої зони;
- пожежна безпека;
- електробезпека;

Проведемо аналіз вище перерахованих шкідливих та небезпечних факторів [23].

### **Виробничий шум.**

Основними джерелами шуму є електродвигуни, редуктори, ланцюгові передачі, несучі металеві пластини. Рівень звукового тиску в октавних смугах частот, рівень звуку в джерелах сумарно дорівнює 98 дБА

Рівень шуму на робочому місці належить до допустимих меж, оскільки рівень шуму створюваний вентиляторами і електроустаткуванням складає 75 дБ.

Зменшення механічного шуму в лінії фасування деревного вугілля у м'які контейнери:

- балансування елементів, що обертаються,  $ДР = 10 \text{ дБА}$ ;

- матеріали прокладок і пружні вставки в з'єднання, виключаючи при цьому передачу коливань від однієї деталі до іншої, АР=10 дБА;
- своєчасне усунення несправності, ДР=13 дБА;

Фактична величина загальної технічної вібрації на постійних робочих місцях при працюючій лінії 65дБА по ДСН3.3.6.037-99. [23]

### **Повітря робочої зони**

Важливою проблемою сучасного виробництва є захист навколишнього середовища від викидів пилу в атмосферу. Висока концентрація пилу в викидах завдає величезної шкоди природному середовищу, призводить до безповоротної втрати великої кількості сировини і готового продукту. Виробничий пил - це найдрібніші тверді частинки, що виділяються при дробленні і механічній обробці різних матеріалів, навантаження і вивантаження сипучих вантажів тощо, а також утворюються при конденсації деяких парів.

Категорія роботи для оператора стрічкового дозатора є легка 1-А . Енерговитрати людини в цеху досягають 150 ккал/г (172 Дж/с ) по ДСН 3.3.6.042-99[23].

Згідно категорії оптимальні параметри метрологічних умов в робочій зоні стрічкового дозатора:

У холодний період року:

- температура повітря – (22...24) С,
- відносна вологість – 60-40%,
- швидкість руху повітря – 0,1 м/с.

В теплий період року:

- температура повітря – (23...25) С,
- відносна вологість – 60-40%,
- швидкість руху повітря – 0,1 м/с.

Метеорологічні параметри забезпечуються проточно-витяжною вентиляцією в теплий період року та центральним опаленням – у холодний період року і відповідають ДСН 3.3.6.042-99.

Приміщення, де встановлений дозатор має забезпечуватися пиловловлюючими апаратами, що дозволяють запобігти забрудненню пилом повітряного басейну заводів і прилеглих до них територій. Матеріал який транспортують – деревне вугілля. Перед викидом в атмосферу аспіраційного повітря від живильних агрегатів ці апарати очищають його, забезпечуючи зниження вмісту в них пилу до встановлених законом санітарних норм.

Блокування живильних агрегатів повинна забезпечувати наступний порядок пуску обладнання: пилоуловлювальні і аспіраційні системи - розвантажувальні пристрої - живильник - загрузочні пристрої. При раптовій зупинці живильник блокування повинно автоматично відключити завантажувальні пристрої, а при зупинці розвантажувальних пристроїв - живильник і завантажувальних пристроїв.

Санітарні норми запиленості в операторській грохочення і помелу забезпечуються розвиненою системою аспірації живильників, місць завантаження і перевантаження транспортування і помольного обладнання, надійними ущільнювачами з'єднань матеріалопроводів і газоходів. Збирання пилу з висотних майданчиків виробляють через спеціальні спускні труби, з'єднані з герметичними бункерами [23].

### **Пожежна безпека**

У виробництві може горіти: дерев'яні матеріали, електроізоляція та горючі речовини. Категорія пожежної безпеки цеху - В (згідно ОНТП 24-86), клас зони пожежонебезпеки П-Па, ступінь вогнестійкості II (згідно СНИП 2.01.02-85)

Серед причин, які викликають спалах, найбільш частими є:

- спалах ізоляції електропроводів;
- несправність електроустаткування;

- використання вогню в недозволеному місці;
- струми короткого замикання і перевантаження кабелів живлення;
- іскри при електро- і газозварювальних роботах.

Запобігання можливості спалаху забезпечується наступними заходами:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації: куріння тільки у відведених місцях;
- своєчасне проведення інструктажу по техніці безпеки серед обслуговуючого персоналу;
- наявність засобів організації, зокрема, системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;
- наявність засобів пожежогасінні безпосередньої близькості від установки (пісок, вогнегасник);
- будівля встановлена на відстані не менше 10 метрів від сусіднього будинку і 20 метрів від складів;
- заземлені металеві елементи, оскільки при появі блискавки можливе іскріння;
- на будівлі встановлені громовідводи сітчастого вигляду.

У приміщеннях на видних місцях біля телефонів слід вивішувати таблички із зазначенням номера телефону "101" для виклику пожежної охорони.

На території підприємств має бути встановлена і доведена до всіх працівників схема евакуації людей і техніки на випадок виникнення пожежі.

При виникненні пожежі необхідно негайно знеструмити обладнання в зоні пожежі або загоряння і вжити заходів для гасіння вогню.

Для гасіння невеликих ділянок спалаху при застосовують вогнегасники ОП-5 (5 шт.). Для автоматичного гасіння включених електромереж застосовують порошкові вогнегасники САМ-9 (3 шт.).

Пожежне обладнання та інвентар слід розміщувати на видних і легкодоступних місцях і тримати їх цілком справними і готовими до негайного використання. Потрібно встановити постійний контроль за їх технічним станом

і призначити відповідальних працівників. Ширина проходу після установки огороження повинна бути не менше 1,2 -1,5 м. Ширина головних проходів у цехи повинна бути не менше 1,5 м. [23]

### **Електробезпека**

Виробниче приміщення, у якому встановлений пункт керування лінією, відповідно до діючих правил (ПУЕ) відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом. Для живлення установки використовується трифазна напруга 220/380 В, з частотою 50 Гц і ізольованою нейтраллю.

Причини враження обслуговуючого персоналу можуть бути наступні:

- помилкове вмикання установки;
- пробій на корпус;
- дотик людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування;
- старіння ізоляції і втрата її ізоляційних властивостей;
- дотик до частин установки, що можуть виявитися під напругою у випадку короткого замикання.

Небезпека враження для людини визначається опором ланцюга людини. Зі зменшенням цих опорів ця небезпека збільшується.

Як величину тривалої враження струмом при нормальних умовах застосовують силу струму  $I=0,01$  А. З метою запобігання травм рекомендується вживати наступних заходів обережності:

- рубильники включення установки знаходитися в спеціальній шафі;
- силові кабелі помістити в спеціальні захисні металеві рукава;
- передбачити спеціальне захисне відключення установки у випадку влучення людини під напругу;
- на панелі управління передбачити спеціальні лампи включення установки;



- вузли установки, що можуть виявитися під напругою, постачати затисками для підключення заземлення.

Оскільки установка живиться напругою 220 В і існує можливість попадання обслуговуючого персоналу під напругу, тому необхідно заземлити установку.

В аварійному режимі для захисту від ураження струмом застосовуються заземлення

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитись під напругою. Застосовується при напрузі змінного струму 380 В і вище, а постійного – 440 В і вище у всьому електроустаткуванні. Фізична суть дії захисного заземлення, в основному, полягає у зниженні напруги дотику. Спеціально виконане електричне з'єднання між металевим корпусом обладнання, яке опинилося під напругою, і землею повинно мати достатньо малий, порівняно з тілом людини, опір, що дозволяє знизити силу струму, що проходить через тіло людини, яка торкнулася цього обладнання, до безпечної величини. [23]

## 10 МОДЕРНІЗАЦІЯ СТРІЧКОВОГО ДОЗАТОРА

### 10.1 Розробка 3D моделей базової і модернізованої конструкцій натяжного барабана стрічкового дозатора

У процесі виконання магістерської дисертації було розроблено твердотільні моделі базової і модернізованої конструкцій натяжного барабану стрічкового дозатора з метою більш наочної демонстрації переваг запропонованої модернізації за патентом RU 2016149912 порівняно з наявною конструкцією. Розробку відповідних 3D моделей вузлів стрічкового дозатора здійснено у середовищі CAD-системи SolidWorks [21].

На рисунку 10.1 зображено барабан базової конструкції, який включає вал, шпонки, барабан та кільця жосткості, що розташовані в його середині.

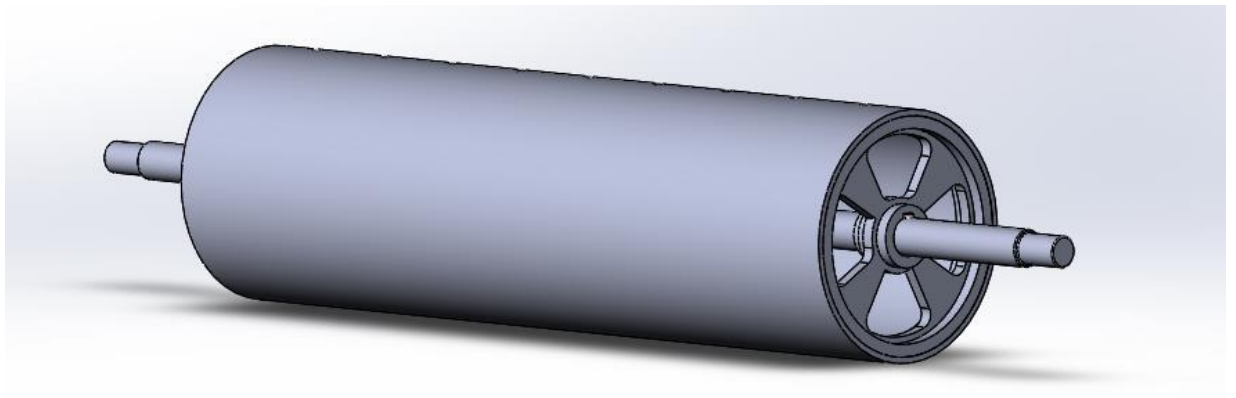


Рисунок 10.1 – 3D модель барабана стрічкового дозатора базової конструкції

На рисунку 10.2 показано конструкцію модернізованого барабану. Головною відмінністю модернізованої конструкції порівняно з базовою є наявність шин, які забезпечують підвищення надійності роботи барабану стрічкового конвеєра та можливість автоматизації процесу з натягу стрічки та її центрування. Також на торцях валу розташовані підшипники, до яких приєднуються пневматичні шланги, через які подається повітря до еластичних шин (рисунок 10.3).

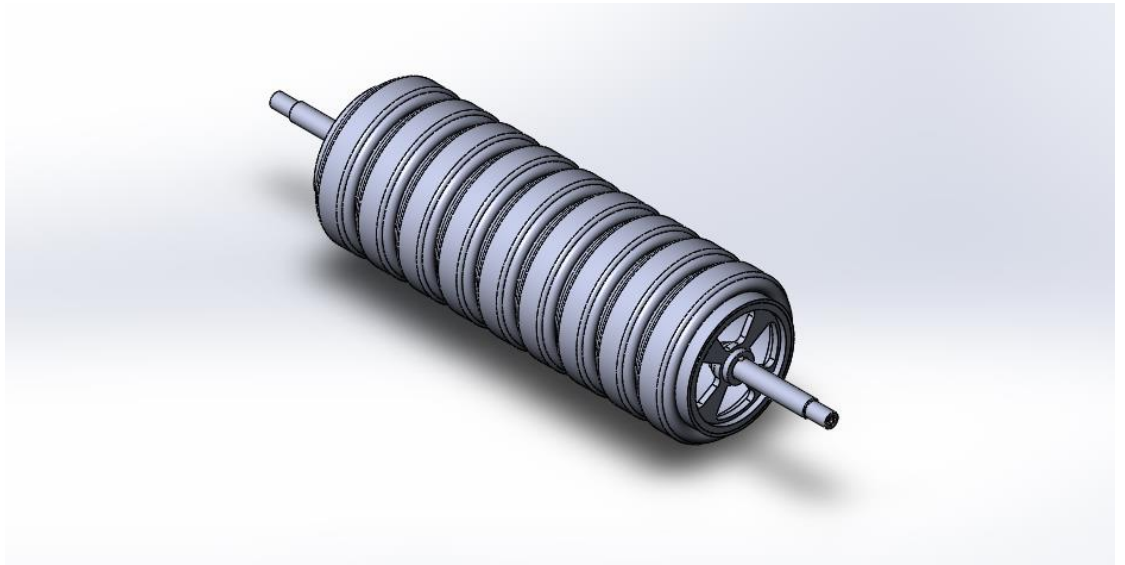


Рисунок 10.2 – 3D модель барабана стрічкового дозатора модернізованої конструкції

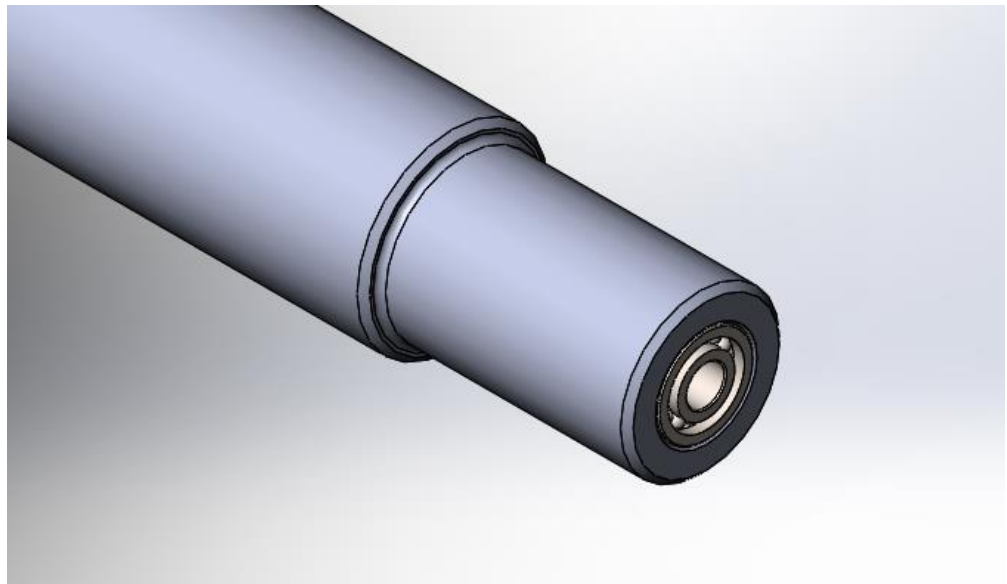


Рисунок 10.3 – Підшипники на торцях валу барабана стрічкового дозатора модернізованої конструкції

Оскільки, значна частина відмінностей модернізованої конструкції від базової знаходяться в середині барабану, тому було вирішено зробити розрізи обох конструкцій, які наведено на рисунках 10.4, 10.5. На розрізі також видно кільця жорсткості, яких не видно на минулих рисунках, які є як у базовій, так і в модернізованій конструкції, а також канали у валу для подачі повітря і місця приєднання шлангів.

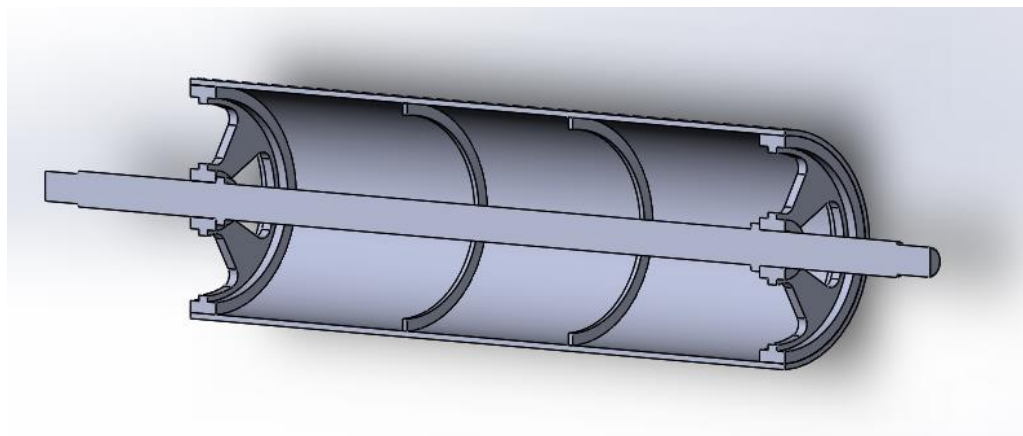


Рисунок 10.4 – Розріз твердотільної моделі барабана базової конструкції стрічкового дозатора

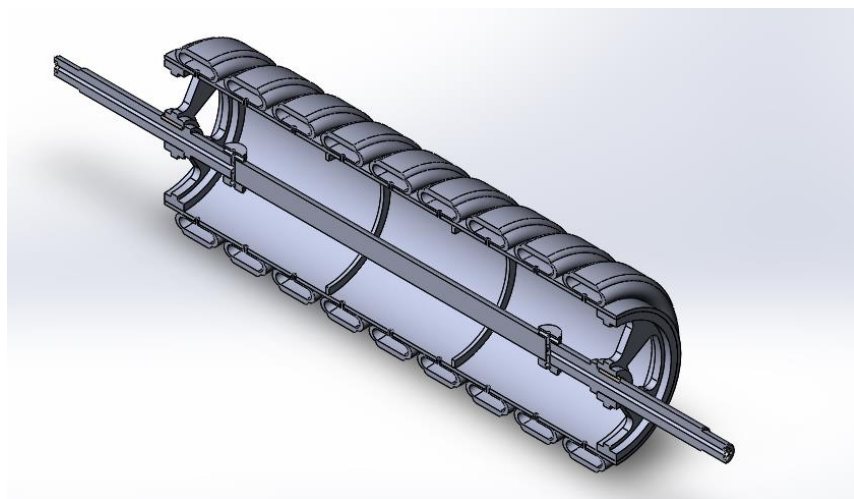


Рисунок 10.5 – Розріз твердотільної моделі барабана модернізованої конструкції стрічкового дозатора

З використанням твердотільної моделі барабана та складального креслення базової машини SWEDA DWL-1000 було розроблено 3D модель стрічкового дозатора в цілому (рисунок 10.6).

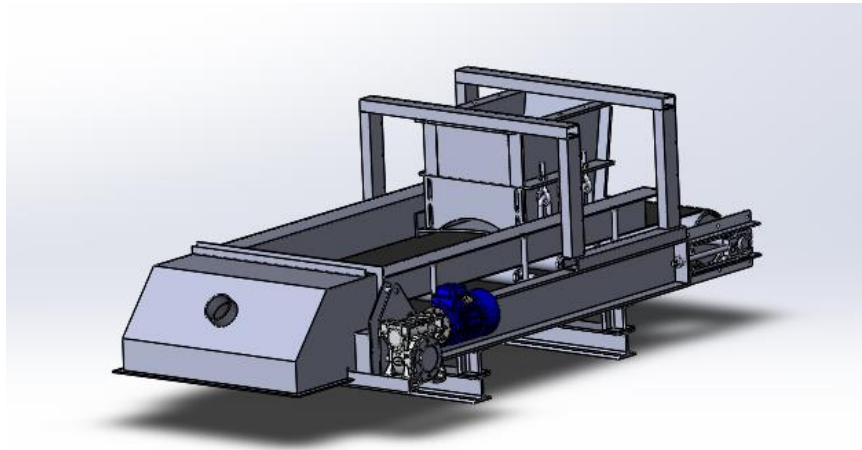


Рисунок 10.6 – Твердотільна модель стрічкового дозатора  
SWEDA DWL-1000

## **10.2 Розрахунки на міцність базової конструкції натяжного барабана стрічкового дозатора. Визначення запасу міцності**

Для числового моделювання напружено-деформованого стану (НДС) базового обладнання було обрано вал натяжного барабану, оскільки саме ця деталь під час експлуатації зазнає найбільшого механічного навантаження, яке і визначає його міцність.

Числовий аналіз НДС валу натяжного барабану базової конструкції виконано з використанням програмних продуктів ANSYS Workbench [17] – Analysis System – Static Structural. Результат дискретизації геометричної моделі вала, або побудова скінченно-елементної сітки, наведено на рисунку 10.7. При цьому розмір скінченного елемента становив 0,01 м, що дало змогу отримати достатню точність розрахунків за невеликої їх тривалості. Тут і далі за текстом перевірка точності розрахунків здійснювалася методом подвійного перерахунку до досягнення сіткової збіжності.

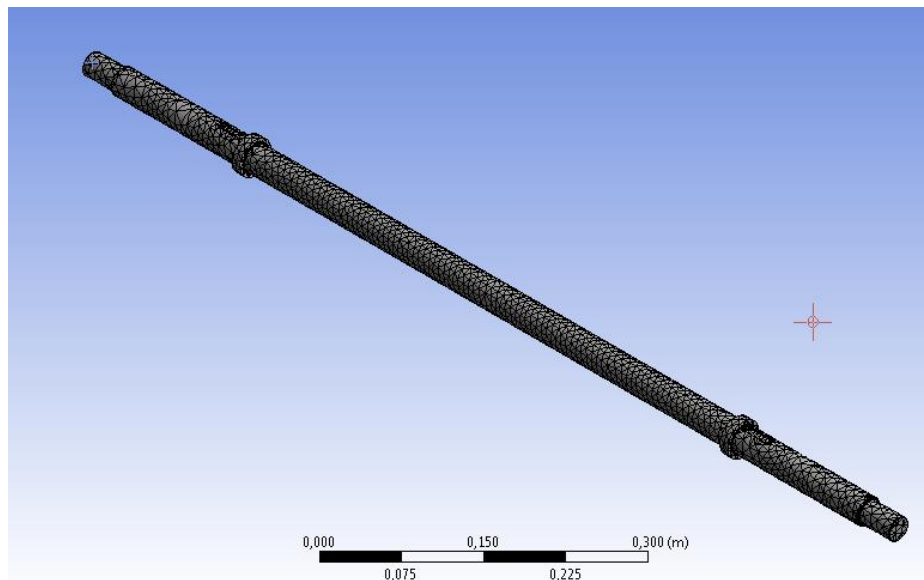


Рисунок 10.7 – Дискретизація валу натяжного барабану базової конструкції на скінченні елементи

Схема навантаження (або граничні умови) валу натяжного барабана базової конструкції наведена на рисунку 10.8. Закріплення задавалися у місцях установки підшипникових вузлів, зусилля за максимального натягу стрічки та крутний момент від барабану задавалися у місцях шпонкових пазів, величини яких бралися за даних розрахунків розділу 5.

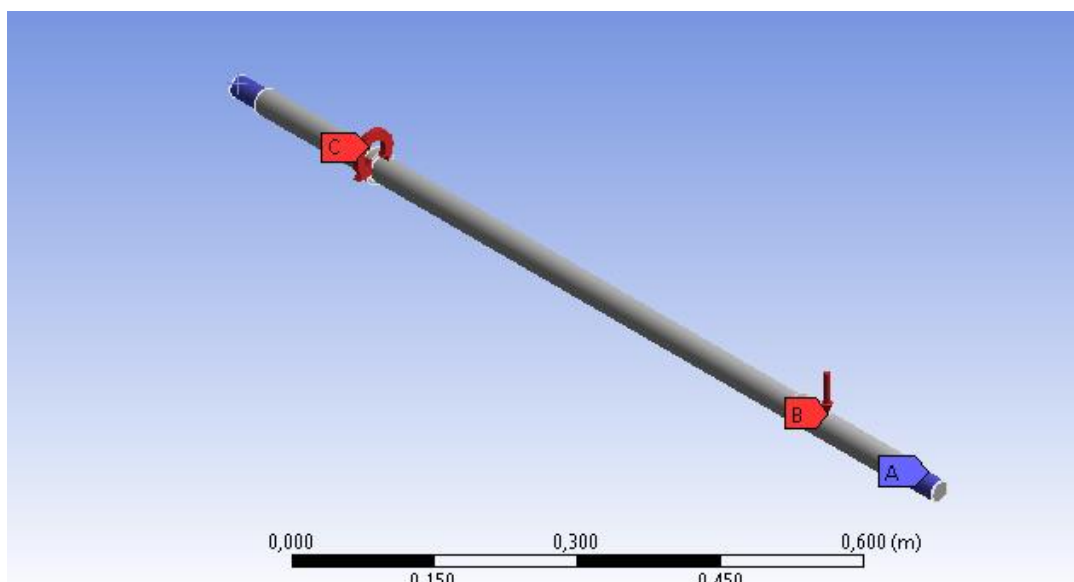


Рисунок 10.8 – Схема навантаження (граничні умови) для валу натяжного барабана базової конструкції

Результати числового моделювання НДС вала натяжного барабана базової конструкції наведено на рисунках 10.9–10.14. Максимальні результуючі переміщення вала склали  $9.3\text{e-}5$  м (рисунок 10.9), що є не критичними для валу стрічкового дозатора.

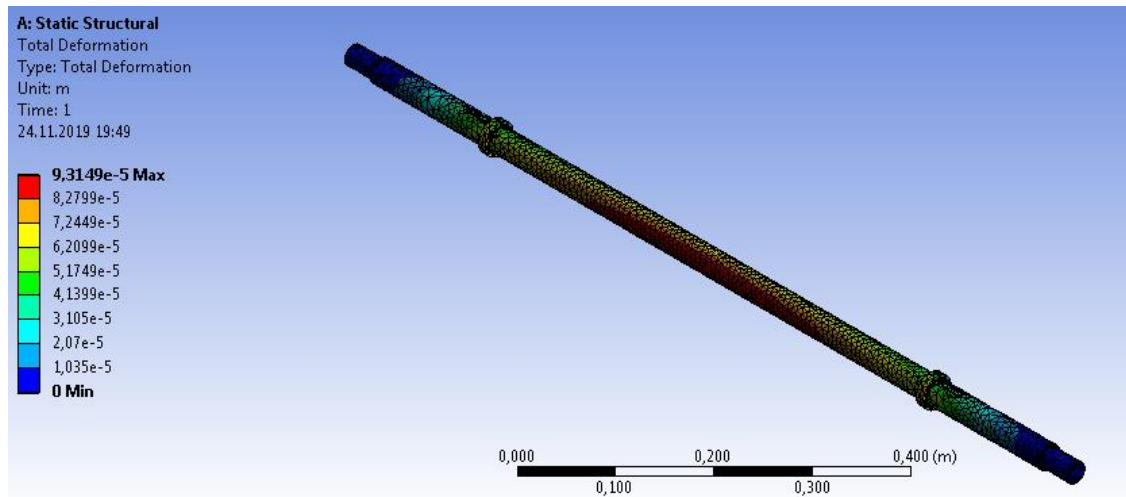


Рисунок 10.9 – Поле результуючих переміщень вала натяжного барабана базової конструкції

Найбільші еквівалентні пружні деформації відбуваються у місцях контакту шпонки з валом та в місцях переходу до меншого діаметру вала, де встановлюються підшипники (рисунки 10.10, 10.11).

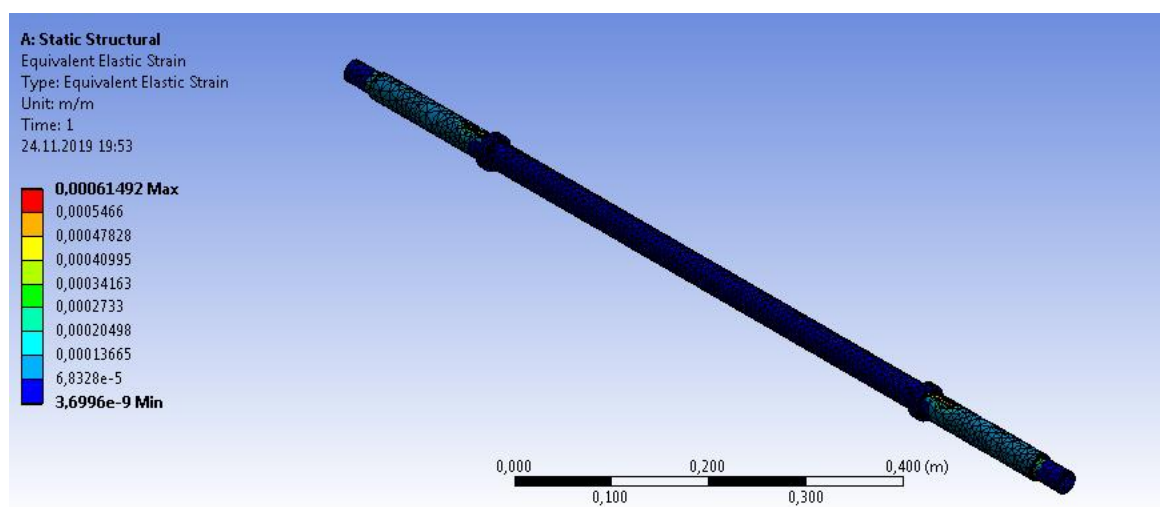


Рисунок 10.10 – Поле еквівалентних пружних деформацій вала натяжного барабана базової конструкції



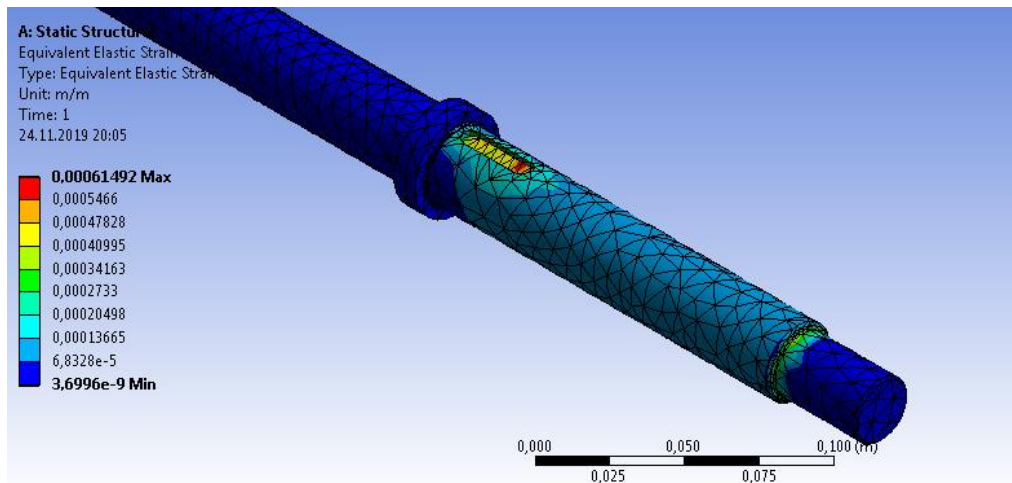


Рисунок 10.11 – Поле еквівалентних пружних деформацій вала натяжного барабана базової конструкції (збільшено)

Найбільші еквівалентні напруження виникають також в місцях контакту шпонки з валом та в місцях переходу до меншого діаметру вала, де встановлюються підшипники (рисунки 10.12, 10.13).

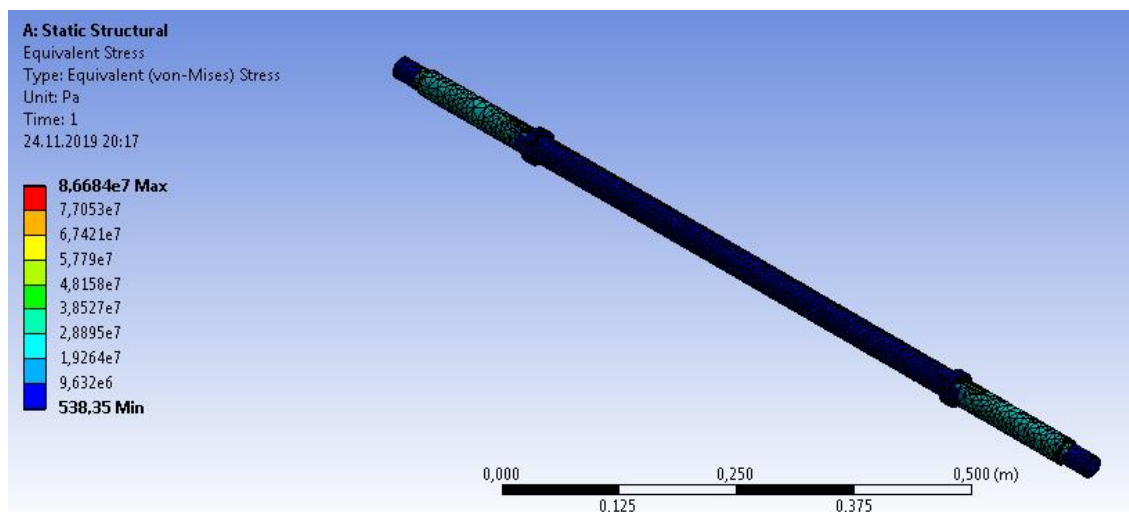


Рисунок 10.12 – Поле еквівалентних напружень за Мізесом вала натяжного барабана базової конструкції



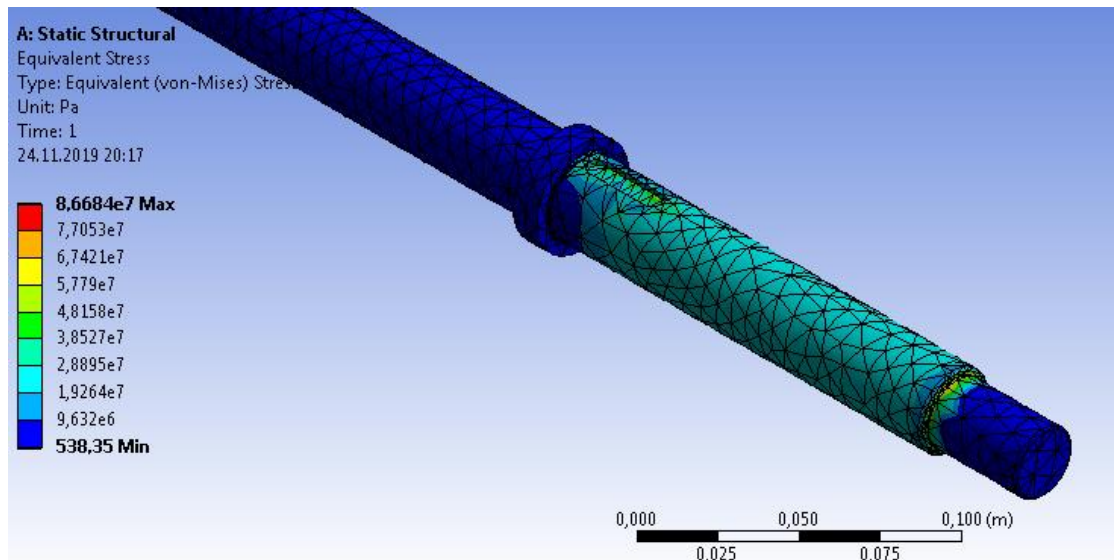


Рисунок 10.13 – Поле еквівалентних напружень за Мізесом вала натяжного барабана базової конструкції (збільшено)

Найменше значення запасу міцності за максимального навантаження валу натяжного барабана базової конструкції становить біля 2,88 (рисунок 10.14), що є достатнім для дозаторів в автоматизованих системах, які захищенні від перевантажень.

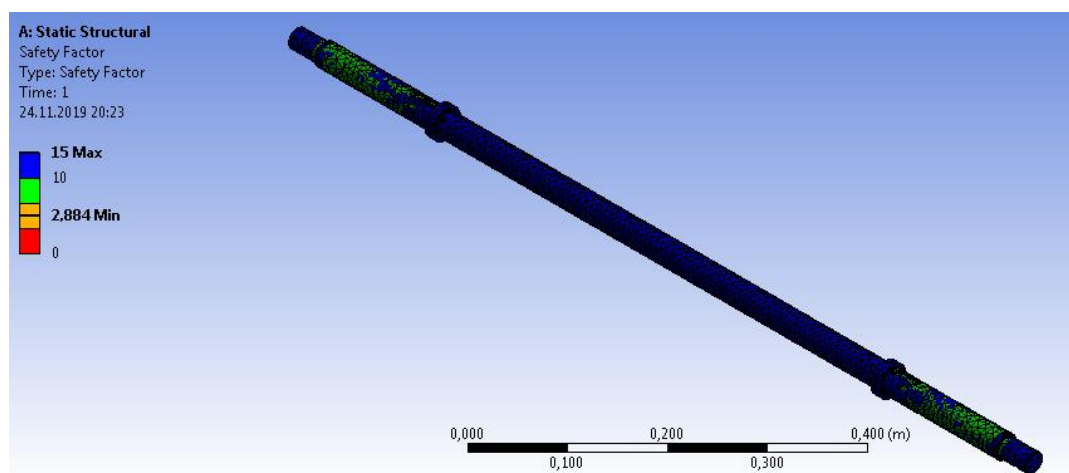


Рисунок 10.14 – Поле запасу міцності вала натяжного барабана базової конструкції

Висновок. За результатами числового моделювання НДС обладнання встановлено, що вал натяжного барабана стрічкового дозатора базової

конструкції має запас міцності більше ніж 2,8, що повинно забезпечити його надійну та довготривалу експлуатацію.

### **10.3 Розрахунки на міцність модернізованої конструкції натяжного барабана стрічкового дозатора. Визначення запасу міцності**

Для забезпечення умов коректного порівняння для числового моделювання НДС модернізованого обладнання також як у випадку базового устаткування було обрано вал натяжного барабану.

Числовий аналіз НДС валу натяжного барабану модернізованої конструкції також виконано з використанням програмних продуктів ANSYS Workbench [17] – Analysis System – Static Structural. Результат дискретизації геометричної моделі вала модернізованої конструкції наведено на рисунку 10.15. При цьому розмір скінченного елемента також як і для базової конструкції становив 0,01 м.

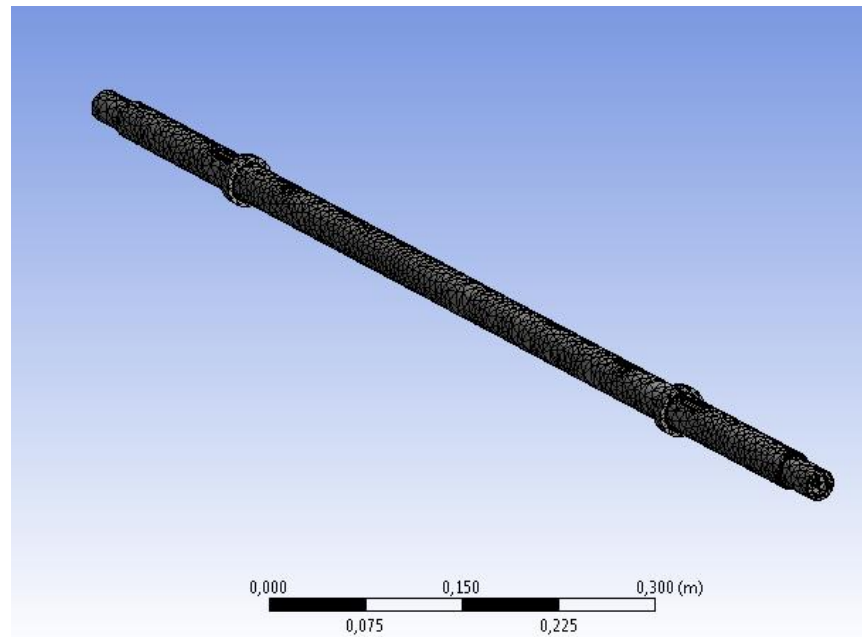


Рисунок 10.15 – Скінченно-елементна дискретизація валу натяжного барабану модернізованої конструкції

Схема навантаження валу натяжного барабана модернізованої конструкції наведена на рисунку 10.16. Закріплення також як і для базової конструкції задавалися у місцях установки підшипникових вузлів, зусилля за максимального натягу стрічки та крутний момент від барабану задавалися у місцях шпонкових пазів, величини яких також бралися за даних розрахунків розділу 5. На відміну від базової конструкції у модернізованій конструкції вала додаткового задавався надлишковий тиск від стисненого повітря, що діє на стінки повітряних каналів всередині вала.

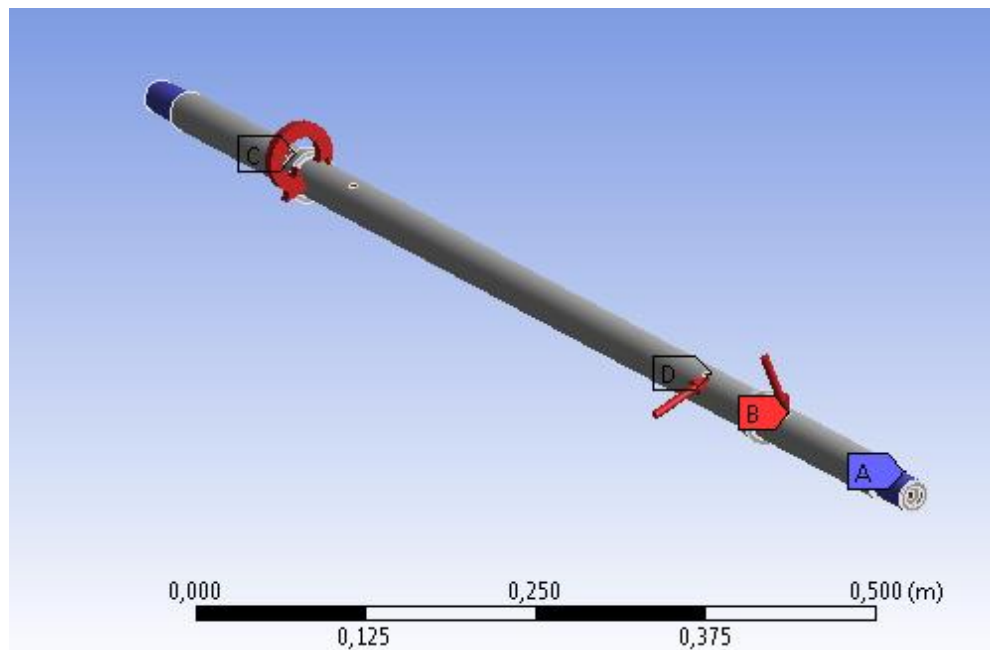


Рисунок 10.16 – Схема навантаження для валу натяжного барабана модернізованої конструкції

Результати числового моделювання НДС вала натяжного барабана модернізованої конструкції наведено на рисунках 10.17–10.22. Максимальні результуючі переміщення модернізованого вала склали  $9.3 \times 10^{-5}$  м (рисунок 10.17), що є не критичними для вала стрічкового дозатора.

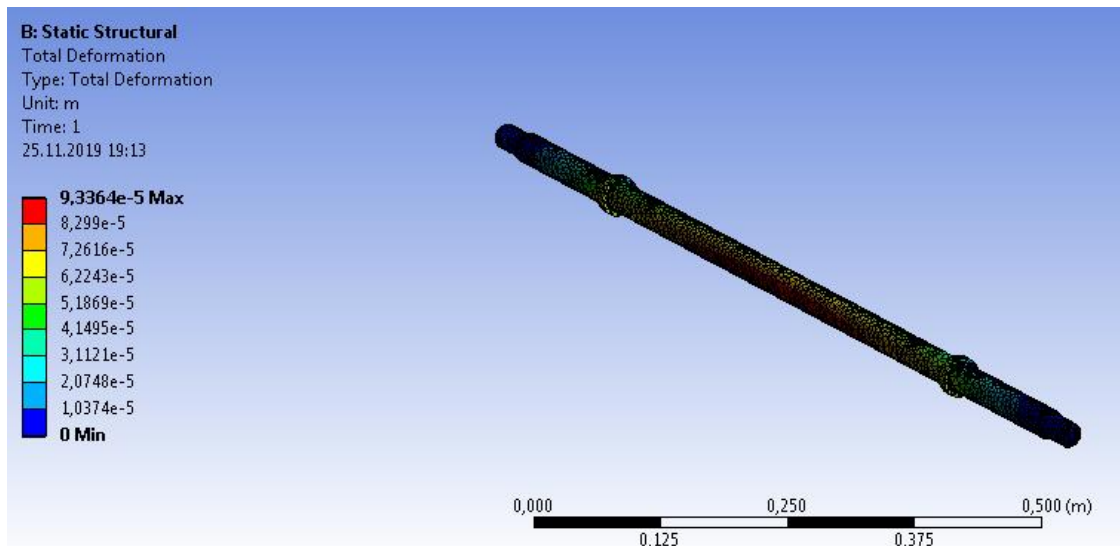


Рисунок 10.17 – Поле результируючих переміщень вала натяжного барабана модернізованої конструкції

Найбільші еквівалентні пружні деформації відбуваються в місцях контакту шпонки з валом модернізованої конструкції та в місцях переходу до меншого діаметру валу, де встановлюються підшипники (рисунки 10.18, 10.19), що відповідає еквівалентним пружним деформаціям базової конструкції (див. рисунок 10.11).

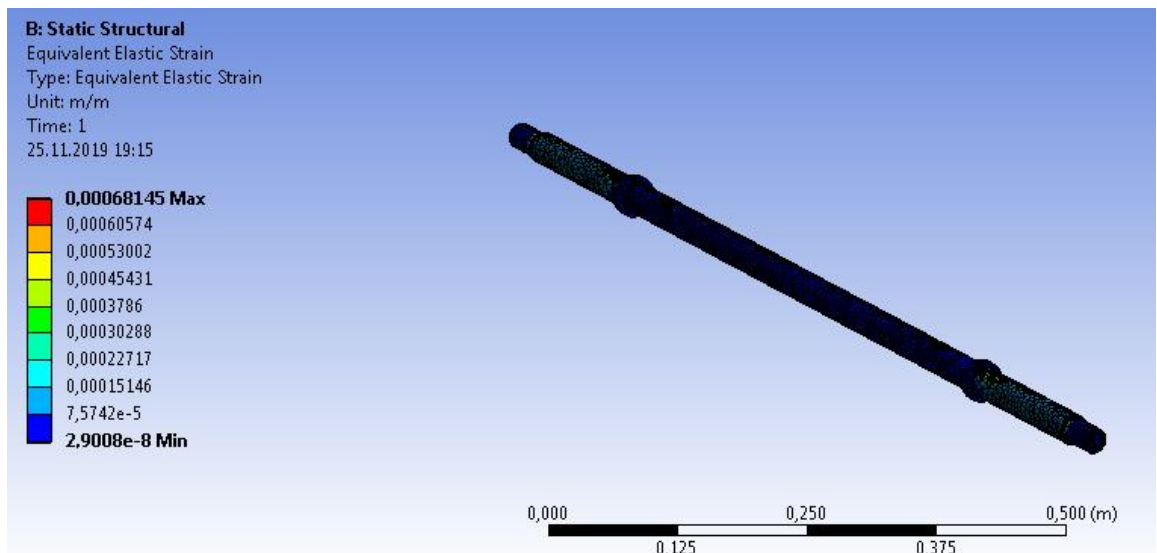


Рисунок 10.18 – Поле еквівалентних пружних деформацій вала натяжного барабана модернізованої конструкції

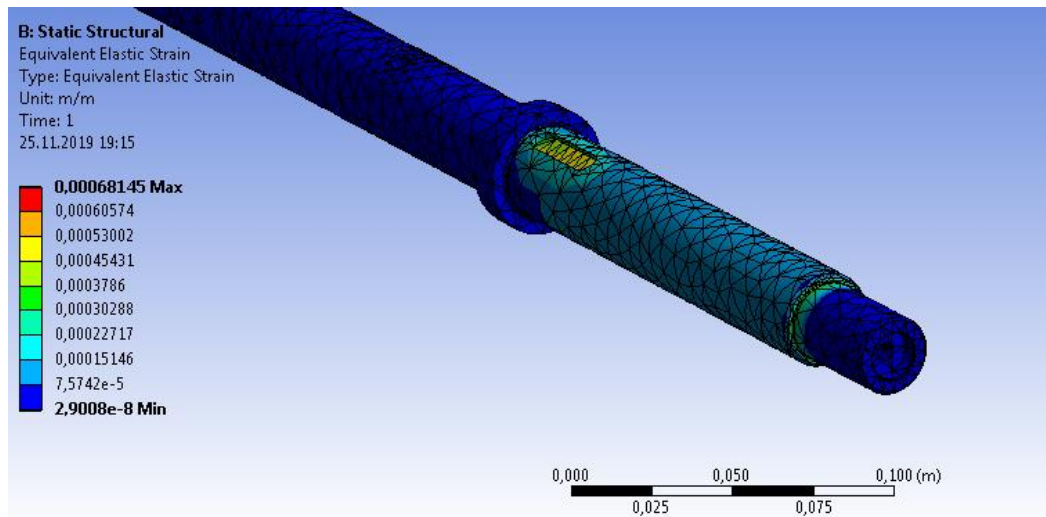


Рисунок 10.19 – Поле еквівалентних пружних деформацій вала натяжного барабана модернізованої конструкції (збільшено)

Найбільші еквівалентні напруження також виникають у місцях контакту шпонки з валом та в місцях переходу валу до меншого діаметру, де встановлюються підшипники (рисунки 10.20, 10.21), що також відповідає еквівалентним напруженням базової конструкції (див. рисунок 10.13).

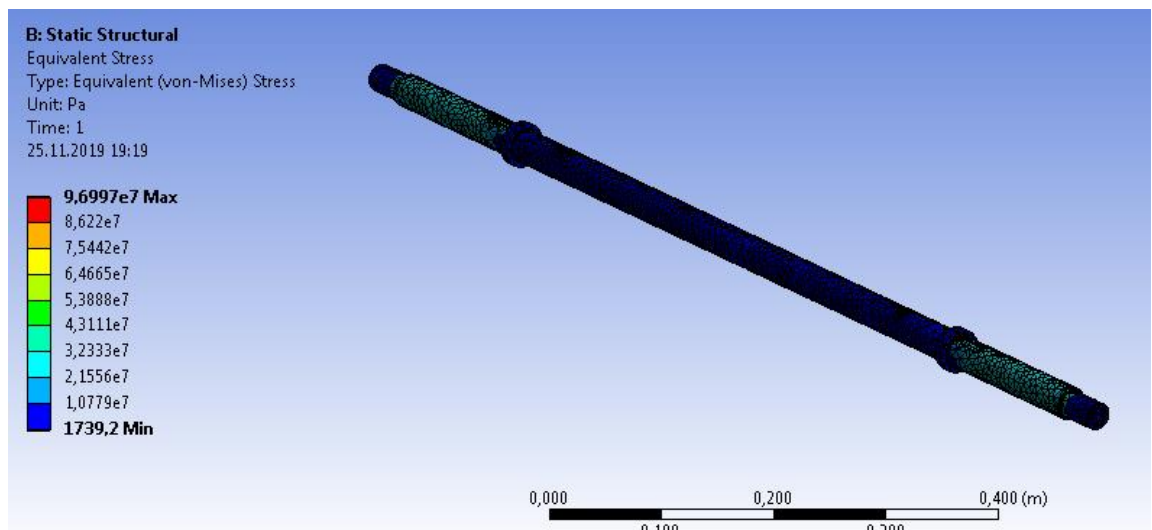


Рисунок 10.20 – Поле еквівалентних напружень за Мізесом вала натяжного барабана модернізованої конструкції

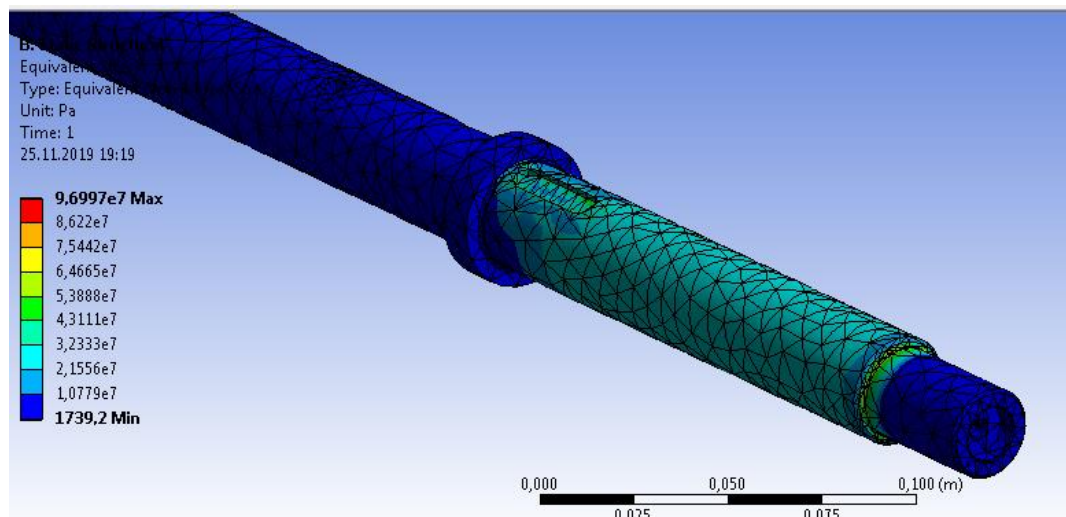


Рисунок 10.21 – Поле еквівалентних напружень за Мізесом вала натяжного барабана модернізованої конструкції (збільшено)

Найменше значення запасу міцності за максимального навантаження вала натяжного барабана модернізованої конструкції становить біля 2,58 (рисунок 10.22), що є достатнім для дозаторів в автоматизованих системах, які захищенні від перевантажень. Цей показник хоч і є меншим за показник базової конструкції, але все ще залишається в нормі, оскільки набагато більший 1.

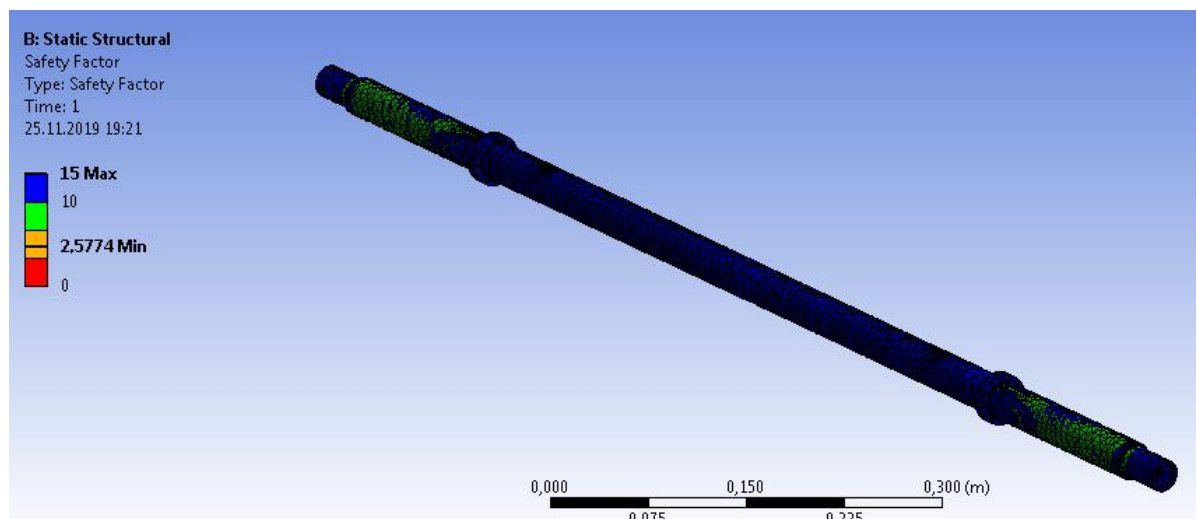


Рисунок 10.22 – Поле запасу міцності вала натяжного барабана модернізованої конструкції

Оскільки головним елементом модернізації стрічкового дозатора є еластичні шини, які встановлюються на натяжний барабан, то в магістерській дисертації також були проведені дослідження НДС окремої еластичної шини.

3D модель  $\frac{1}{4}$  шини також було створено з використанням CAD-системи SolidWorks [21] (рисунок 10.23).

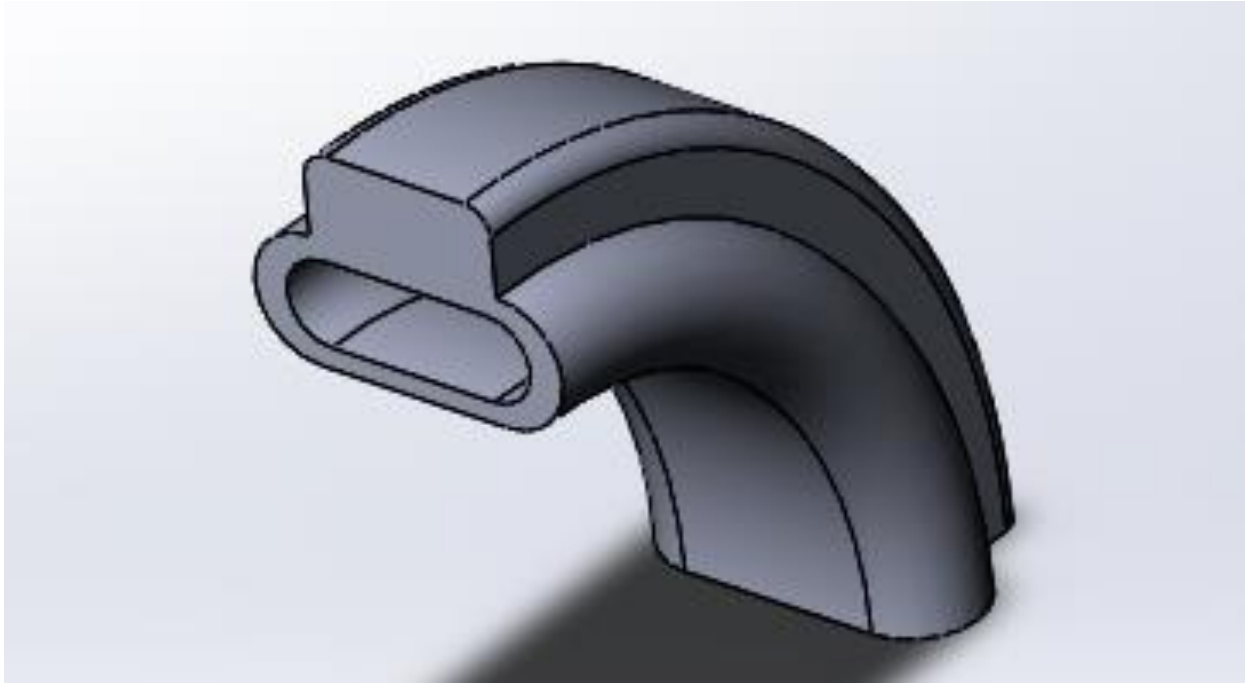


Рисунок 10.23 – Тривимірна модель еластичної шини модернізованого стрічкового дозатора

Числовий аналіз НДС еластичної шини натяжного барабану модернізованої конструкції також виконано з використанням програмних продуктів ANSYS Workbench [17] – Analysis System – Static Structural. Результат дискретизації геометричної моделі еластичної шини модернізованої конструкції стрічкового дозатора наведено на рисунку 10.24. При цьому розмір скінченного елемента становив 0,005 м.



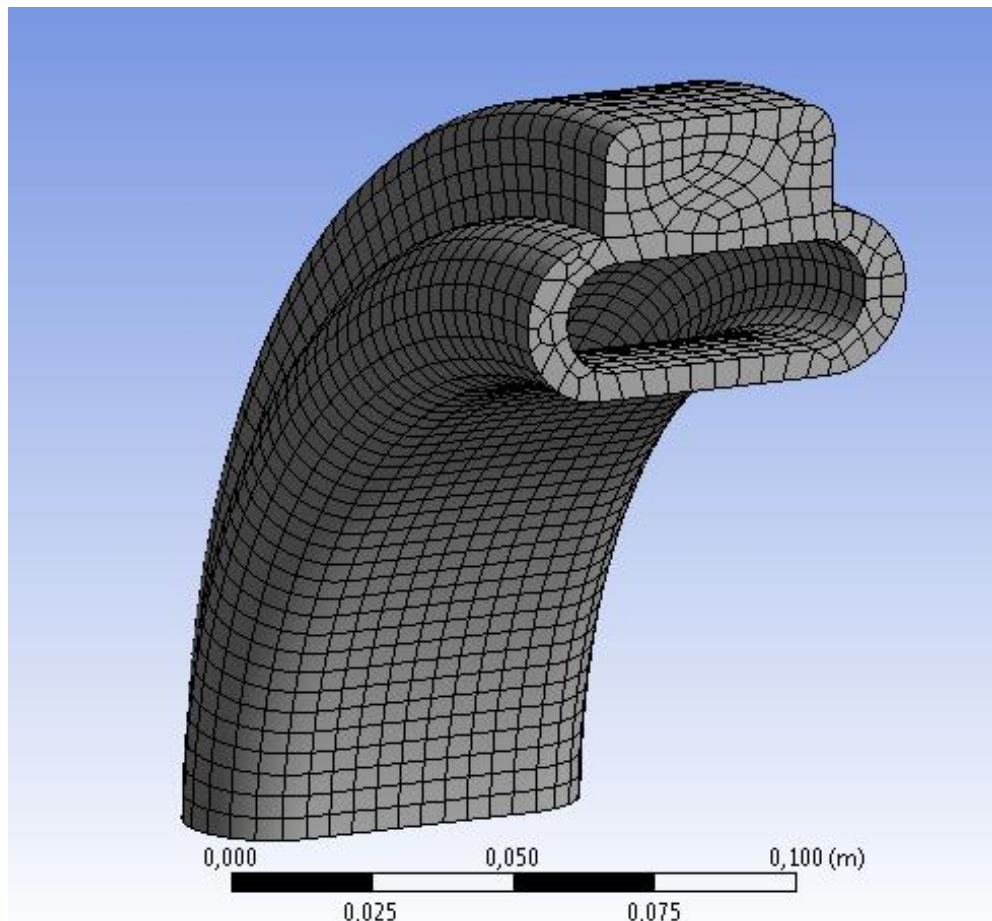


Рисунок 10.24 – Дискретизація геометричної моделі еластичної шини модернізованого стрічкового дозатора

Граничні умови для еластичної шини задаються залежно від режимів експлуатації. Під час експлуатації шини можливі такі два режими її роботи: перший режим – розтягнення шини внутрішнім тиском, який створюється повітряним насосом; другий режим – стискання шини у випадку, коли стрічка натягується із вимкненим насосом для нагнітання повітря.

У першому випадку тиск, що прикладається до внутрішньої верхньої поверхні шини становить 600000 Па, а закріплення задається на поверхні контакту шини із барабаном конвеєра (рисунок 10.25).



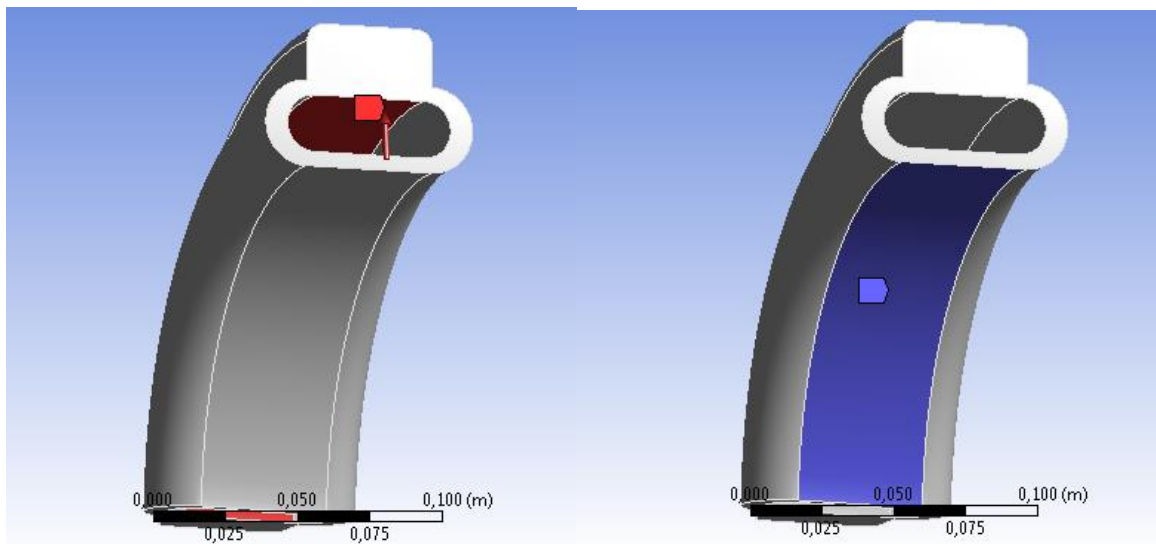


Рисунок 10.25 – Схема навантаження (граничні умови) для першого режиму роботи шини модернізованого стрічкового дозатора

У другому випадку потрібно знайти тиск стрічки на шину, за якого вона повністю стиснеться у разі вимкненого повітряного насосу. Закріплення задається на тій самій поверхні, що і в першому випадку (рисунок 10.26).

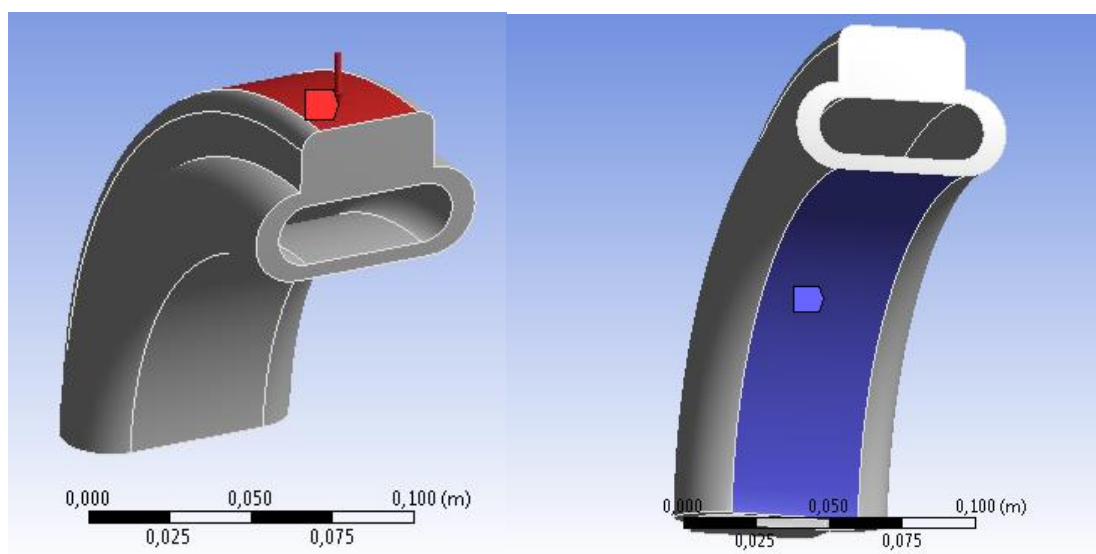


Рисунок 10.26 – Схема навантаження (граничні умови) для другого режиму роботи шини модернізованого стрічкового дозатора

Матеріал шини – гума. Фізичні властивості гіпереластичної гуми бралися у вигляді діаграми деформація-напруження, отриманої під час одновісного розтягнення [17] (рисунок 10.27).

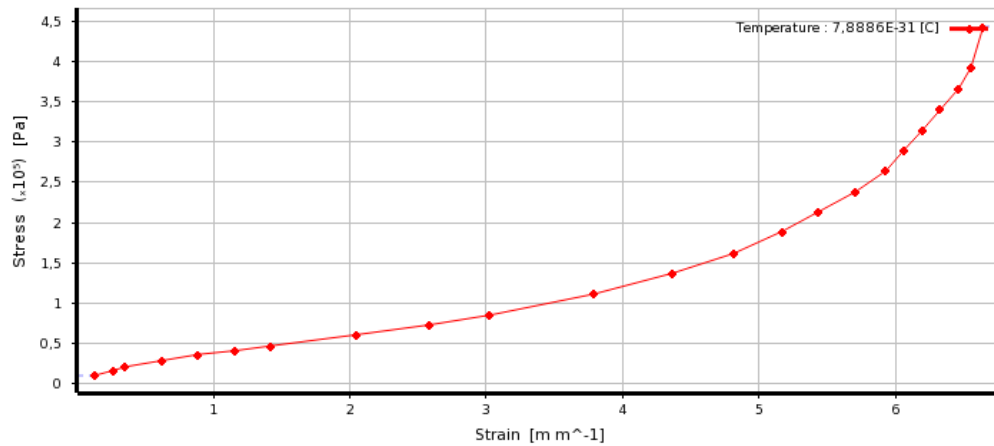


Рисунок 10.27 – Діаграма деформація-напруження під час одновісного розтягнення зразка гіпереластичної гуми [17]

Спочатку розглянемо перший режим роботи еластичної шини, результати числового моделювання якого наведено на рисунках 10.28–10.30.

Як і очікувалося для гіпереластичного матеріалу шини, в результаті проведених розрахунків були отримані великі деформації. Так, наприклад, максимальне значення результуючих переміщень складає 3,8 мм (рисунок 10.28), що призводить до збільшення діаметра шини (барабна) на 7,6 мм, що є дуже гарним результатом для стрічок, які призначені для середьокускових сипких матеріалів. Динамічне збільшення діаметрів обох барабанів стрічкового конвеєра зможе забезпечити якісний натяг стрічки за різних матеріалів та режимів експлуатації, дає змогу змінювати величину натягу стрічки за необхідності.

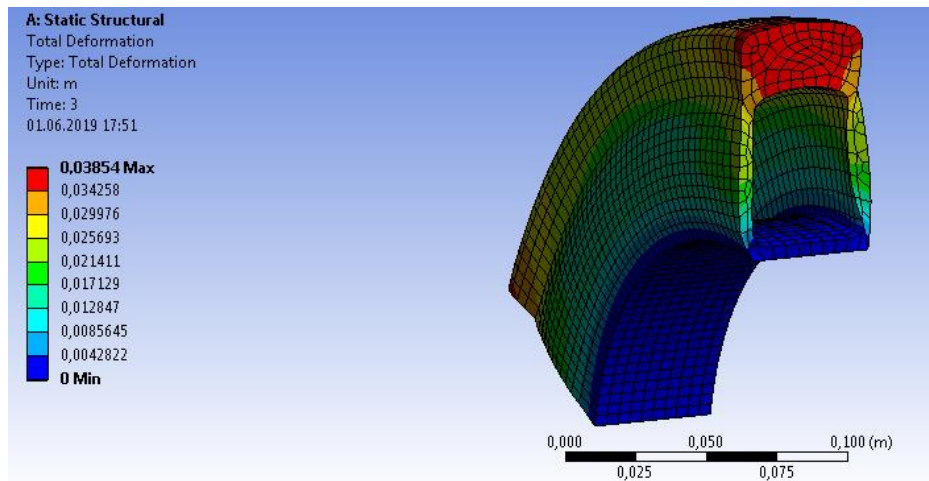


Рисунок 10.28 – Поле результуючих переміщень гіпереластичної шини модернізованого стрічкового дозатора (перший режим)

Найбільші еквівалентні пружні деформації відбуваються в місцях кріплення шини до барабана, а також у внутрішній частині шини (рисунок 10.29).

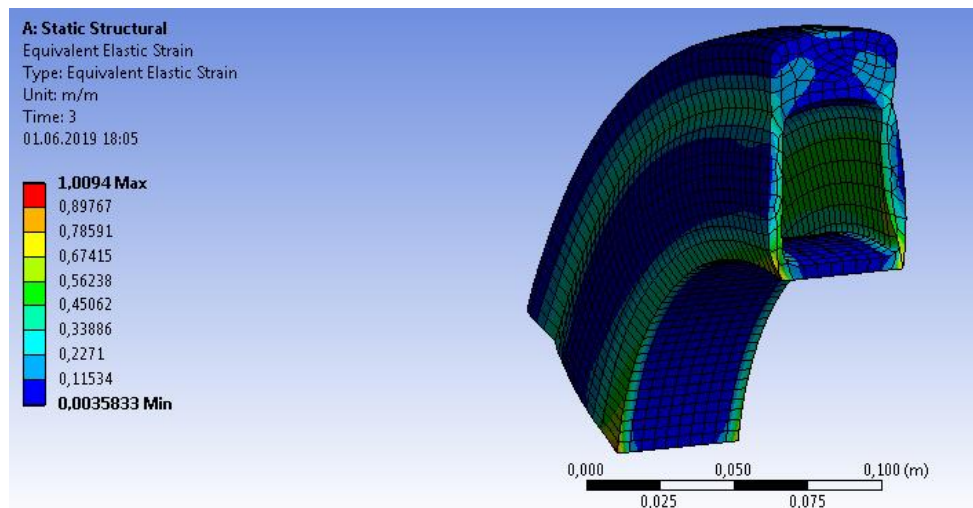


Рисунок 10.29 – Поле еквівалентних пружних деформацій гіпереластичної шини модернізованого стрічкового дозатора (перший режим)

Найбільші еквівалентні напруження виникають у місцях контакту шини з барабаном (рисунок 10.30). Це зумовлено тим, що саме в цих місцях відбувається зміна форми деталі.

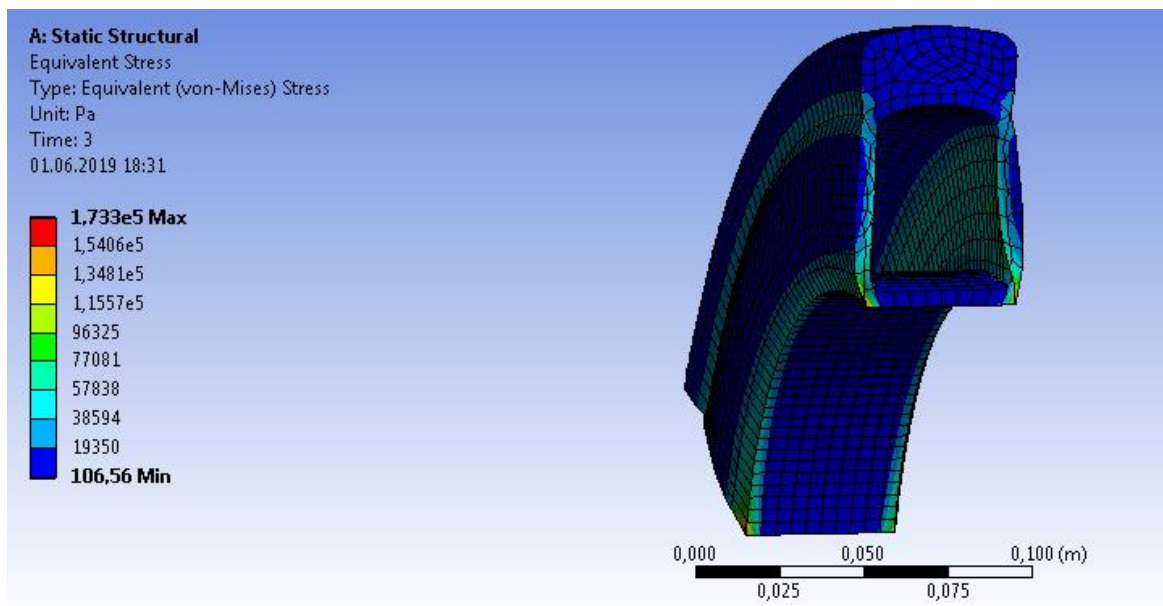


Рисунок 10.30 – Поле еквівалентних напружень за Мізесом гіпереластичної шини модернізованого стрічкового дозатора (перший режим)

Числове моделювання НДС еластичної шини за другим режимом її роботи відбувалося за відсутності внутрішнього надлишкового тиску (повітряний насос вимкнено), внаслідок чого моделювався процес стискання шини.

Максимальне значення результируючих переміщень під час другого режиму роботи еластичної складає 2,2 мм (рисунок 10.31). Якщо отримані переміщення під час стискання шини за другим режимом її роботи додати до переміщень, отриманих під час розтягнення шини за першим режимом її роботи, то у підсумку отримуємо, що діаметр барабана можна збільшити на 12 мм. Такої величини переміщення шини вистачить навіть для того, щоб тримати у постійному натягу доволі еластичні стрічки конвеєра, які використовуються для дрібнозернистих матеріалів у харчовій промисловості. Це свідчить про те, що область застосування модернізованого стрічкового конвеєра значно розширюється. При цьому також зникає необхідність натягу стрічки у ручному режимі у разі переходу на інший матеріал.

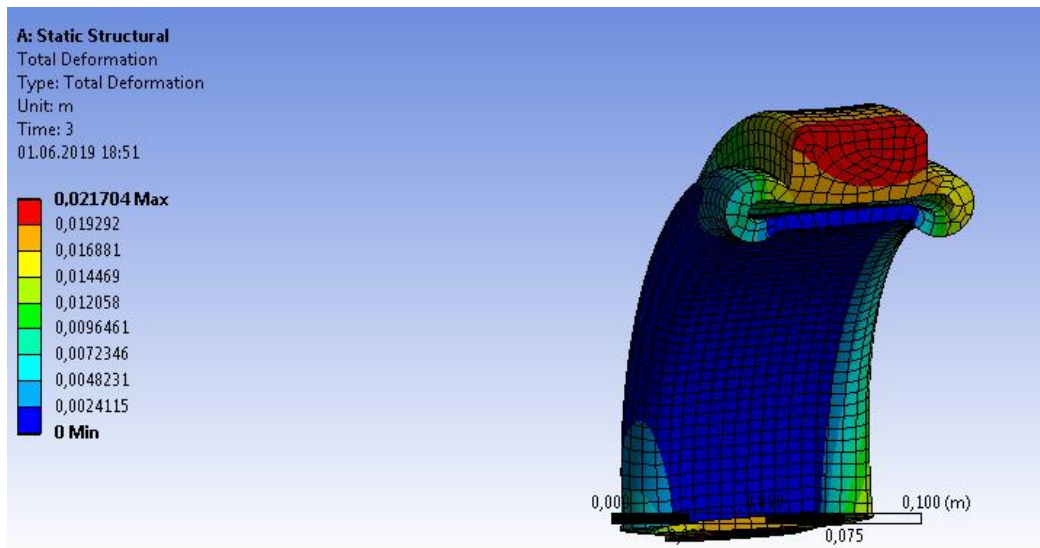


Рисунок 10.31 – Поле результуючих переміщень гіпереластичної шини модернізованого стрічкового дозатора (другий режим)

Найбільші еквівалентні пружні деформації відбуваються на периферії контакту шини і барабана, а також на бічних її поверхнях (рисунок 10.32).

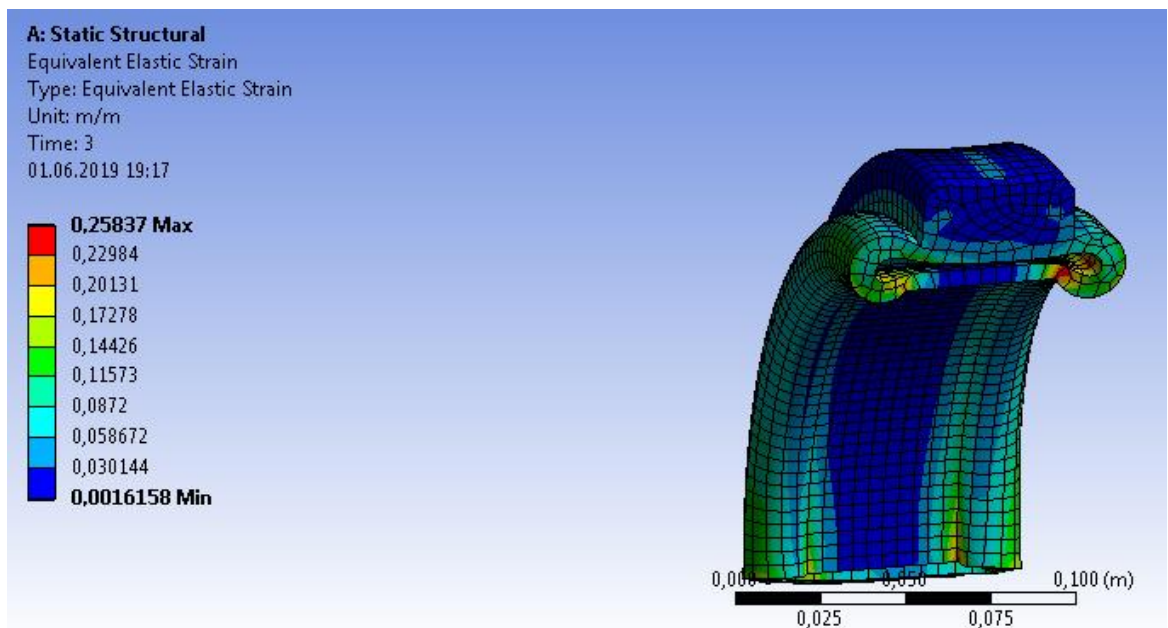


Рисунок 10.32 – Поле еквівалентних пружних деформацій гіпереластичної шини модернізованого стрічкового дозатора (другий режим)

Найбільші еквівалентні пружні напруження так само як і еквівалентні деформації мають місце на периферії контакту шини і барабана, а також на бічних її поверхнях (рисунок 10.33). Це зумовлено тим, що саме в цих місцях відбувається зміна форми деталі.

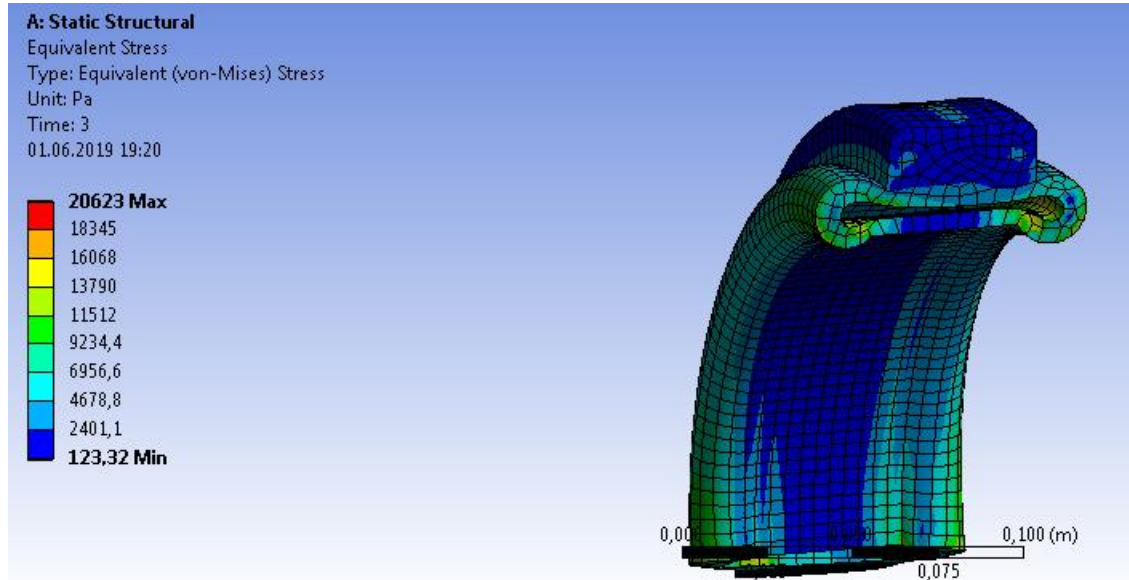


Рисунок 10.33 – Поле еквівалентних пружних напружень за Мізесом гіпереластичної шини модернізованого стрічкового дозатора (другий режим)

Поле запасу міцності для обох режимів роботи шини має доволі велике значення і становить понад 15 (рисунок 10.34). Це означає, що еластична шина працює під дією навантажень, які далеко не є критичними для її матеріалу, і тому повинна мати довгий термін експлуатації.



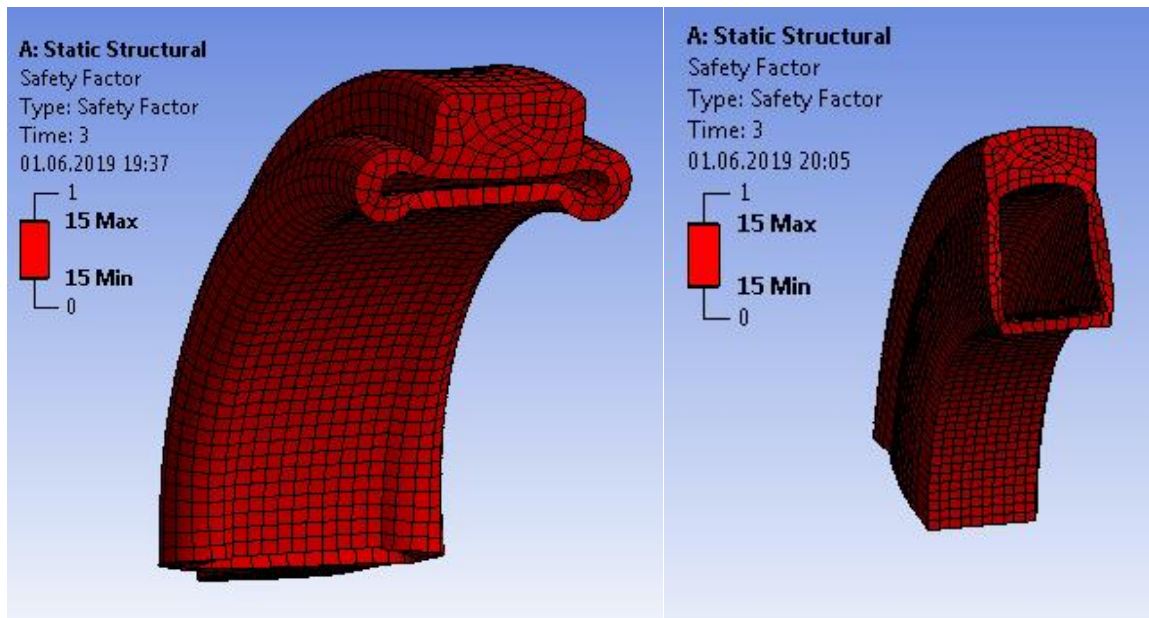


Рисунок 10.34 – Поле запасу міності для двох режимів роботи еластичної шини

Висновки. За результатами числового моделювання НДС модернізованого обладнання встановлено, що вал та еластична шина натяжного барабана стрічкового дозатора модернізованої конструкції мають запас міцності 2,6 та понад 15, відповідно, що набагато більше 1 і тому повинно забезпечити його надійну та довготривалу експлуатацію.

#### **10.4 Підтвердження працездатності модернізованого вузла натяжного пристрою стрічкового дозатора**

Головним результатом числового моделювання, що підтверджує працездатність модернізованого вузла натяжного пристрою стрічкового дозатора є запас міцності конструкції, значення якого для вала барабана становить 2,6, а для еластичної пневмо-шини, що кріпиться на барабані, – понад 15. Отримані значення запасу міцності модернізованого вузла свідчать про його придатність до надійної та довготривалої експлуатації.

При цьому наявність еластичної пневмо-шини у вузлі натяжного пристрою повинно забезпечити автоматизацію процесу натягу та центрування стрічки конвеєра під час експлуатації у штатному режимі та у разі переходу на

інший за розміром зерна сипкий матеріал, що значно розширює область застосування модернізованого стрічкового дозатора.

### 10.5 Аналіз достовірності отриманих результатів

Для перевірки достовірності результатів розрахунків механічних напружень гумової шини вузла натяжного пристрою барабанного типу, спричинених навантаженням надлишковим тиском, скористаємося розв'язком статичної тестової задачі під час одновісного розтягнення гумового циліндричного зразка, який характеризується гіпереластичними механічними властивостями [17]. Математичні формулювання задач статичної пружності наведено в [18–20].

Вихідні дані для розрахунків НДС: розміри циліндричного зразка становлять  $\varnothing 25 \times 100$  мм; матеріал – гума; фізичні властивості гіпереластичної гуми бралися у вигляді діаграми деформація-напруження, отриманої під час одновісного розтягнення [17] (рисунок 10.35); навантаження – зусилля  $P = 5$  Н.

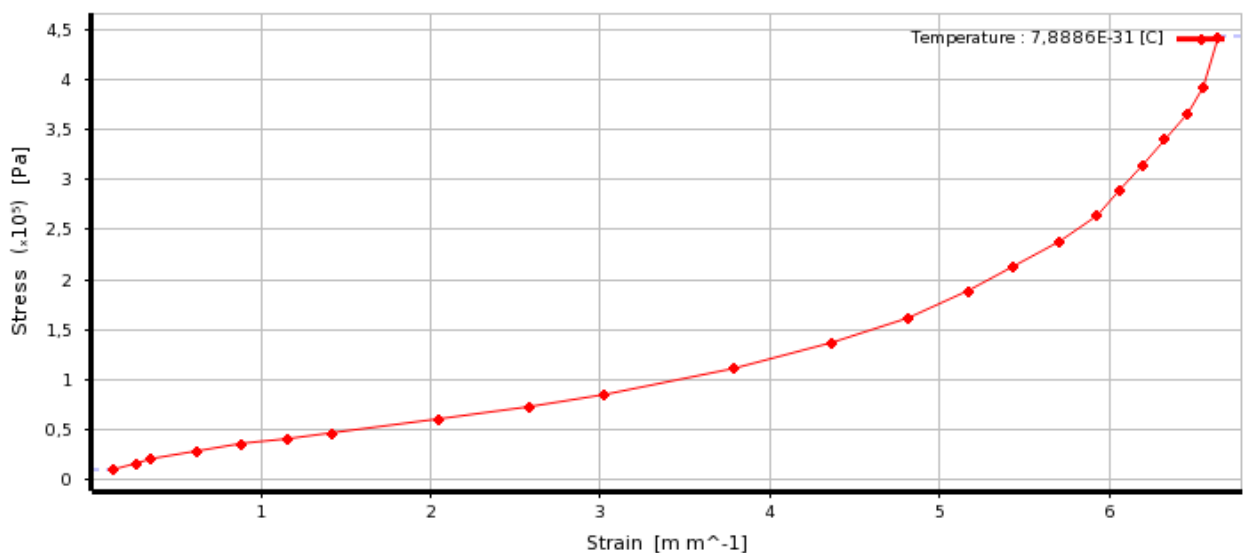


Рисунок 10.35 – Діаграма деформація-напруження під час одновісного розтягнення зразка гіпереластичної гуми [17]



Для числового розв'язання тестової задачі було створено спеціальну механічну модель у вигляді циліндричного зразка в середовищі програмних продуктів ANSYS Workbench [17] (рисунк 10.36).

**A: Static Structural**  
 Displacement 3  
 Time: 1, s  
 27.11.2019 12:22

**A** Displacement  
**B** Force: 5, N  
**C** Displacement 2  
**D** Displacement 3

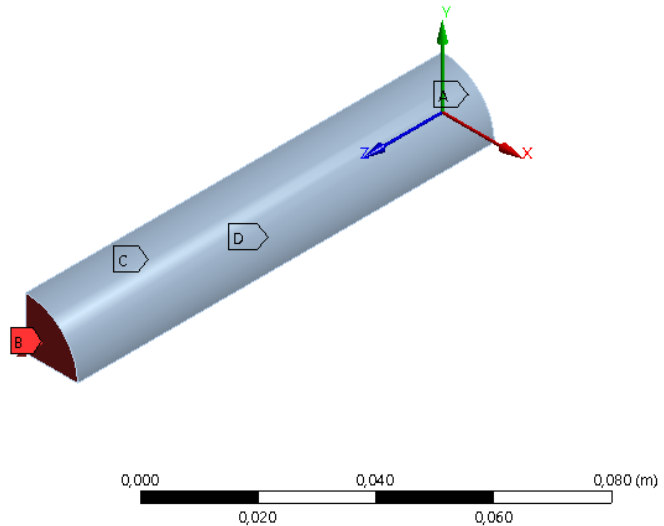
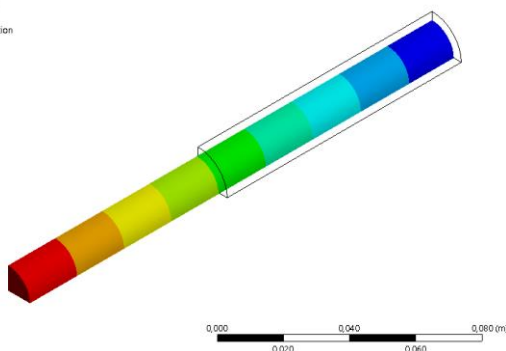


Рисунок 10.36 – Геометрична модель  $\frac{1}{4}$  частини циліндричного зразка зі схемою навантаження для числового розв'язання механічної задачі

Результати розрахунків механічних полів за тестовою геометрично нелінійною моделлю гіпереластичного циліндричного зразка з врахуванням великих деформацій наведено на рисунку 10.37, 10.38.

**A: Static Structural**  
 Total Deformation  
 Type: Total Deformation  
 Unit: m  
 Time: 1  
 27.11.2019 12:43

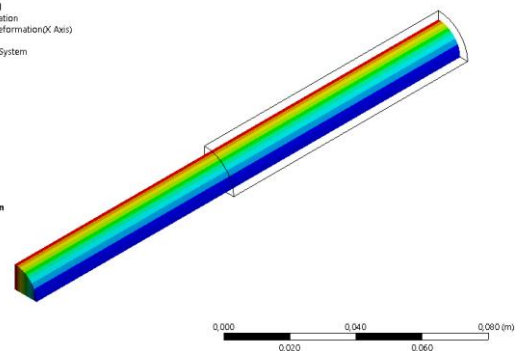
**0,001136 Max**  
 0,072121  
 0,063106  
 0,054091  
 0,045076  
 0,036066  
 0,027045  
 0,01803  
 0,0090151  
**0 Min**



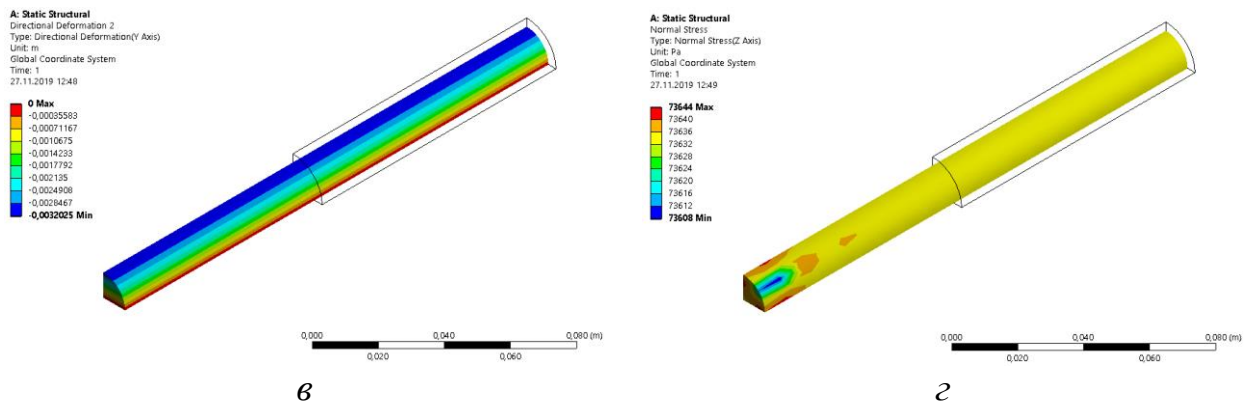
*a*

**A: Static Structural**  
 Directional Deformation  
 Type: Directional Deformation(X Axis)  
 Unit: m  
 Global Coordinate System  
 Time: 1  
 27.11.2019 12:45

**0 Max**  
 -0,00035593  
 -0,00071166  
 -0,0010675  
 -0,0014233  
 -0,0017792  
 -0,002135  
 -0,0024908  
 -0,0028467  
**-0,0032025 Min**



*б*



$a$  – результуюче поле переміщень;  $b$  – поле переміщень по осі  $x$ ;  $v$  – поле переміщень по осі  $y$ ;  $z$  – поле нормальних напружень по осі  $z$

Рисунок 10.37 – Результати розрахунків НДС гіпереластичного циліндричного зразка з врахуванням великих деформацій

За результатами числового розв’язку тестової задачі (рисунок 10.37), середнє значення нормального напруження по осі зразка становить  $\sigma_{zz} = 73636$  Па (рисунок 10.38).

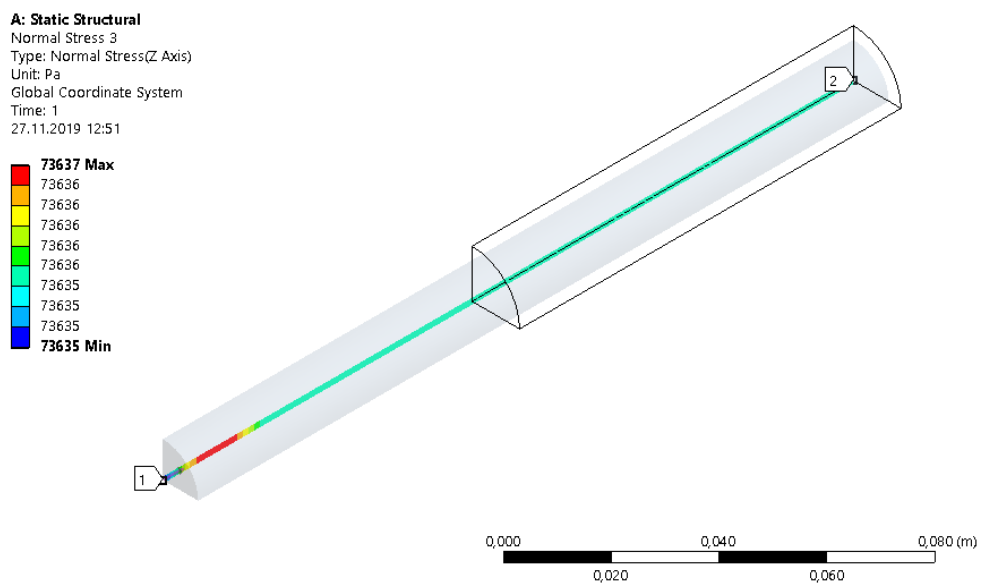


Рисунок 10.38 – Результати розрахунків нормального напруження  $\sigma_{zz}$  по осі зразка з врахуванням великих деформацій

Оцінку похибки виконаних розрахунків НДС гіпереластичного гумового циліндричного зразка проведемо з використанням аналітичних залежностей. Для цього використаємо зворотну задачу, у якій за відомим значенням  $\sigma_{zz}$

визначимо зусилля  $P^p$ , що спричинило це напруження під час розтягу зразка за формулою

$$P^p = \sigma_{zz} f^a, \quad (9.1)$$

де  $f^a$  – актуальна (після деформації – (див. рисунки 10.37, 10.38)) площа поверхні, до якої прикладене зусилля  $P$ , м<sup>2</sup> (див. рисунок 10.36).

Тепер для оцінки похибки визначення  $P^p$  треба його порівняти із заданим у тестовій задачі значенням (див. рисунок 10.36). Для цього спочатку визначимо актуальну площу  $\frac{1}{4}$  торця циліндричного зразка, використовуючи дані розрахованих полів поперечних переміщень (див. рисунки 10.37 б, в)

$$f^a = \frac{\pi d^a}{16} = 6,789 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2,$$

де  $d^a = d - 0,0032 \cdot 2 = 0,025 - 0,0064 = 0,019$  м – актуальний діаметр після деформації;  $d = 0,025$  м – початковий діаметр до деформації.

Тоді значення  $P^p$  та відносна похибка його визначення  $\delta_{P_r}$  будуть становити:

$$P^p = \sigma_{zz} f^a = 73636 \cdot 6,789 \cdot 10^{-5} = 4,999 \text{ Па},$$

$$\delta_{P_r} = \frac{P - P^p}{P} 100\% = \frac{5 - 4,999}{5} 100\% = 0,02 \text{ \%}.$$

Базуючись на даних проведеної оцінки похибки визначення зусилля (напруження) за тестовою числовою моделлю цілком аргументовано можна стверджувати, що отримані результати можна розповсюдити на розрахунки НДС гумової шини вузла натяжного пристрою барабанного типу (рисунки 10.28–10.34), які теж будуть мати похибку не вищу за 0,02–0,05 %.

## ВИСНОВКИ

Головним результатом магістерської дисертації є модернізація вузла натяжного пристрою стрічкового конвеєра лінії фасування деревного вугілля в м'які контейнери та дослідження напружено-деформованого стану пакувального обладнання з метою підтвердження його експлуатаційної придатності.

За результатами магістерської дисертації можна зробити такі висновки.

1) Розглянуто призначення й галузь застосування стрічкового дозатора, обрана й обґрунтована його конструкція, наведена технічна характеристика.

2) Виконано розрахунки стрічкового дозатора базової конструкції, що включають параметричні, кінематичні і розрахунки на міцність. За результатами розрахунків встановлено, що машина є працездатною.

3) На підставі патентно-літературного пошуку здійснено вибір та обґрунтування модернізації натяжного пристрою стрічкового дозатора за патентом RU 2016149912, що забезпечують підвищення експлуатаційної надійності барабану стрічкового конвеєра та автоматизацію його роботи з натягу стрічки та її центруванню.

4) Розроблено чотири креслення та специфікації до них: загальний вид лінії пакування вугілля в м'які контейнери; загальний вид стрічкового дозатора; модернізація натяжного пристрою стрічкового дозатора барабанного типу; модернізація натяжного пристрою з функцією контролю розриву стрічки.

5) Розроблено розділи по монтажу і експлуатації стрічкового дозатора, автоматизації лінії фасування вугілля у м'які контейнери. Також розроблено стартап проект та написано правила з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях при роботі з стрічковим дозатором.

6) Розроблено твердотільні та числові моделі НДС вузла натяжного пристрою стрічкового дозатора для розв'язання таких задач: лінійної пружності для вала натяжного барабана базової та модернізованої конструкцій; нелінійної пружності для гіпереластичної пневмо-шини натяжного барабана

модернізованої конструкції з використанням діаграми деформація-напруження та врахуванням великих деформацій.

7) З використанням розроблених числових моделей вузла натяжного пристрою стрічкового дозатора досліджено НДС обладнання з метою підтвердження працездатності запропонованої модернізації.

8) Головним результатом числового моделювання, що підтверджує працездатність модернізованого вузла натяжного пристрою стрічкового дозатора є запас міцності конструкції, значення якого для вала барабана становить 2,6, а для еластичної пневмо-шини, що кріпиться на барабані, – понад 15. Отримані значення запасу міцності модернізованого вузла свідчать про його придатність до надійної та довготривалої експлуатації.

9) Наявність еластичної пневмо-шини у вузлі натяжного пристрою повинна забезпечити автоматизацію процесу натягу та центрування стрічки конвеєра під час експлуатації у штатному режимі та у разі переходу на інший за розміром зерна сипкий матеріал, що значно розширює область застосування модернізованого стрічкового дозатора.

10) Проведено оцінку похибки визначення зусилля (напруження) за тестовою числовою моделлю розтягу гіпереластичного гумового циліндричного зразка, яка становить 0,02 %. Отримані результати можна розповсюдити на розрахунки НДС гумової шини вузла натяжного пристрою барабанного типу, які теж повинні мати похибку не вищу за 0,02–0,05 %.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Электронний ресурс <http://www.detalmach.ru/lect27.htm>
2. Иванченко Ф. К. Конструкция и расчёт подъёмно-транспортных машин.: Підручник [Текст] / Ф. К. Иванченко — 2-е изд. перераб. и доп. — К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. 424 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т., Т.2/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.П. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1985. — 496 с.
4. Расчет и проектирование машин непрерывного транспорта [Электронный ресурс] : метод. указания к практическим работам / Е. В. Мусияченко, В. М. Ярлыков, Г. С. Гришко и др. — Электрон. дан. (5 Мб). — Красноярск : ИПК СФУ, 2009.
- 5 Пат. RU 175107 МПК(2017.01) B65G 23/04. Барабан ленточного конвейера / Степанцов Михаил Анатольевич; заявник і патентовласник — Степанцов Михаил Анатольевич; опубл. 21.11.2017, Бюл. № 16/2017.
- 6 Пат. RU 2458842, МПК(2011.01) B65G 23/44. Натяжное устройство ленточного конвейера / Муллагов М.Х., Зайнуллин Ф.Х., Нагимов, А.Х., Валеев В.Ш.; заявник і патентовласник — Муллагов М.Х.; опубл. 08.04.2011, Бюл. № 16/2011.
- 7 Пат. RU2116232, МПК(1996.01) B65G 23/24. Натяжное устройство ленточного транспортера, преимущественно туннельных сушильных установок непрерывного действия / Мишнев А.В., Трифонов С.С., Ильяшевич, В.Я., Клименко В.А.; заявник і патентовласник — Мишнев А.В.; опубл. 19.03.1996, Бюл. № 16/1996.
- 8 Пат. RU2214355, МПК(2002.01) B65G 23/24. Натяжное устройство ленточного конвейера / Ахрамков О.В. Середа С.В.; заявник і патентовласник — Ахрамков О.В.; опубл. 30.04.2002, Бюл. № 16/2002.
- 9 Пат. RU49806, МПК(2005.01) B65G 23/24. Натяжное самоустанавливающееся устройство ленточного конвейера / Бахолдин А.М.,

Кизим С.О; заявник і патентовласник – Бахолдин А.М.; опубл. 06.09.2005, Бюл. № 16/2005.

10 Пат. UA17670, МПК(2006.01) B65G 23/00. Натяжний пристрій стрічки конвеєра / Бодло М.В., Вільянінов М.І.; заявник і патентовласник – Бодло М.В.; опубл. 16.10.2006, Бюл. № 16/2006.

11 Пат. RU94025230, МПК(1996.01) B65G15/28. Ленточный конвеер / Боровлев В.И; заявник і патентовласник – Боровлев В.И; опубл. 27.07.1996, Бюл. № 16/1996.

12 Пат. RU2281899, МПК(2006.01) B65G15/08, B65G43/06. Бремсберговый ленточный конвеер / Тарасов Ю.Д.; заявник і патентовласник – Тарасов Ю.Д.; опубл. 20.08.2006, Бюл. № 16/2006.

13 Пат. RU2269465, МПК(2006.01) B65G15/08, B65G43/06. Конвеер ленточный / Тарасов Ю.Д.; заявник і патентовласник – Тарасов Ю.Д.; опубл. 10.02.2006, Бюл. № 16/2006.

14 Пат. UA51184, МПК(2005.01) B65G15/08, B65G43/06. Натяжний пристрій стрічкового конвеєра / Осипенко А.В., Виншневський О.Й., Новіков М.Ф.; заявник і патентовласник – Осипенко А.В.; опубл. 15.03.2005, Бюл. №16/2005.

15 Пат. UA35589, МПК(2008.01) B65G 23/00, B65G43/06. Візковий натяжний пристрій стрічкового конвеєра / Щеглов О. М. ,Суглобов В. В., Барановський В. В., Бураковський В. О.; заявник і патентовласник – Щеглов Олег Михайлович; опубл. 15.03.2005, Бюл. №16/2008.

16 Пат. RU2564937, МПК(2015.01) B65G23/44, B65G43/06. Натяжное устройство ленточного конвеера / Тарасов Ю. Д.; заявник і патентовласник – Тарасов Юрий Дмитриевич; опубл. 10.10.2015, Бюл. № 16/2015.

17 ANSYS Engineering Simulation & 3D Design Software ANSYS [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ansys.com/> (last access: 24.10.2019).

18 Механіка суцільних середовищ – 1. Механіка суцільних середовищ в інженерних розрахунках [Електронний ресурс]: Текст лекцій для студентів спеціальності «Галузеве машинобудування», спеціалізації

«Інжиніринг, обладнання та технології виробництв полімерних та будівельних матеріалів і виробів» / Уклад.: О. С. Сахаров, А. Я. Карвацький – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 233 с.

19 Механіка суцільних середовищ. Теоретичні основи навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування», «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів і виробів» / А. Я. Карвацький. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 290 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23917>.

20 Інжиніринг пакувального обладнання. Конспект лекцій з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» / А. Я. Карвацький. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 142 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23915>.

21 Основные элементы SolidWorks / Dassault Systems SolidWorks Corporation, a Dassault Systems S.A. company, 300 Baker Avenue, Concord, Mass. 01742 USA, 1995–2009. 534 p.

22 Смирнов А.Б. Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами / А.Б. Смирнов – С-Пб.: СПбГЛУ, 2003 – 22 с.

23 Ткачук К.Н. Основы охраны праці: Підручник. 2-ге видання доповнене та перероблене / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.

24 Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.